

BERICHTE

Geophysikalische Untersuchungen
im Raum
Erlachgraben — Windische Höhe
(Kärnten)

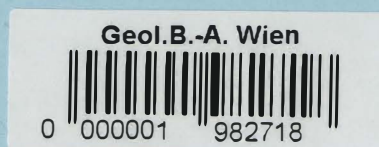
(Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekte KA-26/81-82)

Wolfgang Seiberl
Alexander Biedermann
Herbert Heinz

Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Nr.5

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT

A-1031 WIEN, POSTFACH 154 · RASUMOFSKYGASSE 23



GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT

Geophysikalische Untersuchungen im Raum **Erlachgraben — Windische Höhe** (Kärnten)

(Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekte KA-26/81-82)

Wolfgang Seiberl
Alexander Biedermann
Herbert Heinz

Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Nr.5

Projektendbericht
Wien, November 1986

Impressum:

Alle Rechte für In - und Ausland vorbehalten.

Medieninhaber, Herausgeber und Verleger: Geologische Bundesanstalt,
A-1031 Wien, Rasumofskygasse 23.

Für die Herstellung, Inhalt und Redaktion sind die Autoren verantwortlich.

Verlagsort: Wien

Ziel der "Berichte der Geologischen Bundesanstalt" ist die Verbreitung wissenschaftlicher Ergebnisse durch die Geologische Bundesanstalt.

Die "Berichte der Geologischen Bundesanstalt" sind im Buchhandel nicht erhältlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Zielsetzung und Ablauf des Projektes:	2
2. Planung und Durchführung des Meßprogrammes:	3
2.1. Grundlagen der I.P.-Messungen:	3
2.2. Meßausrüstung:	6
2.3. Durchführung der Messungen:	6
2.4. Personal:	8
3. Datendarstellung:	8
4. Geologie des Meßgebietes:	9
5. Ergebnisse	10
5.1. Übersichtsmessungen	10
a) Scheinbarer spezifischer Widerstand (ρ_a)	10
b) I.P.-Effekt (Chargeabilität)	10
c) Eigenpotentialgradient (SP):	13
5.2. Detailmessungen:	13
5.3. Modellrechnungsergebnisse:	13
6. Empfehlungen:	21
7. Literatur:	22
8. Anhang	24
A. Grundlagen der Meßmethodik:	24
a) Ursachen des I.P.-Effektes:	24
b) Messung des I.P.-Effektes:	24
c) Modelle und Interpretation:	28
B. Technische Spezifikationen der verwendeten Meßgeräte	34

Zusammenfassung

Im Herbst 1984 wurde im Raum Erlachgraben – Windische Höhe die seit längerem bekannte Pb - Zn - Vererzung (Wertschacher Alm) mit Hilfe von Messungen des Induzierten - Polarisations - Effektes geophysikalisch untersucht. Im Projektgebiet wurden entlang von sieben Profilen sowohl der I.P. - Effekt, der scheinbare, spezifische, elektrische Widerstand als auch die Eigenpotentialgradienten bestimmt.

Die geophysikalischen Messungen zeigen, daß die bekannte Mineralisierung an eine Zone geringen Widerstandes, die durch sehr kleine I.P. - Anomalien begleitet wird, gebunden ist. Aus den Ergebnissen einer Widerstands - Modellrechnung folgt, daß möglicherweise ein Teil des eben erwähnten Widerstandsminimums durch die extremen topographischen Bedingungen im Bereich der Wertschacher Alm verursacht wird.

1. Zielsetzung und Ablauf des Projektes:

Entsprechend dem Projektantrag wurde als Projektziel die geophysikalische Untersuchung einer schon seit längerem im Bereich des Erlachgrabens (Wertschacher Alm) bekannten Pb-Zn-Vererzung mit Hilfe von Messungen des Induzierten - Polarisations - Effektes (I.P.-Effekt) definiert. Dazu war vorgesehen, aus Projektmitteln eine moderne I.P.-Meßapparatur anzuschaffen.

Ursprünglich sollten die entsprechenden Feldmessungen im Sommer 1981 durchgeführt werden. Die Abwicklung des Projektes wurde aber durch mehrere Faktoren erheblich verzögert:

- a) Die im Rahmen des Projektes neu angeschafften Meßgeräte wurden erst im Herbst 1981 angeliefert.
- b) Schon bei den ersten Testmessungen mit der neuen Meßapparatur zeigte sich, daß die zugehörige Sendeanlage nicht funktionsfähig war. Insgesamt mußte diese viermal für Reparaturarbeiten zum Hersteller (Phönix, Kanada) bzw. zu dessen Vertretung in Europa (Fenning, England) verschickt werden. Dabei blieb bei den letzten Servicearbeiten der Sender fast ein Jahr lang in England liegen, weil die notwendigen Ersatzteile erst aus Kanada besorgt werden mußten. Letztendlich konnte die Meßanlage erst im Sommer 1984 endgültig in Betrieb genommen werden, sodaß mit der Realisierung des Projektes KA-26 erst ab diesem Zeitpunkt begonnen werden konnte.

Aus den genannten Gründen wurden erst im Spätherbst 1984 die entsprechenden Feldmessungen im Projektgebiet, seine Lage ist in der Abbildung 1 ersichtlich, durchgeführt.

Zusätzlich zum geplanten Untersuchungsprogramm im Raum Wertschacher Alm wurden im Bereich der Windischen Höhe zwei Profile geophysikalisch vermessen, weil hier im Zuge der aerogeophysikalischen Befliegung des Drauzuges (Projekt KC-8/80; SEIBERL & HEINZ, 1985) eine sehr kleine Anomalie im elektrischen Widerstand festgestellt werden konnte.

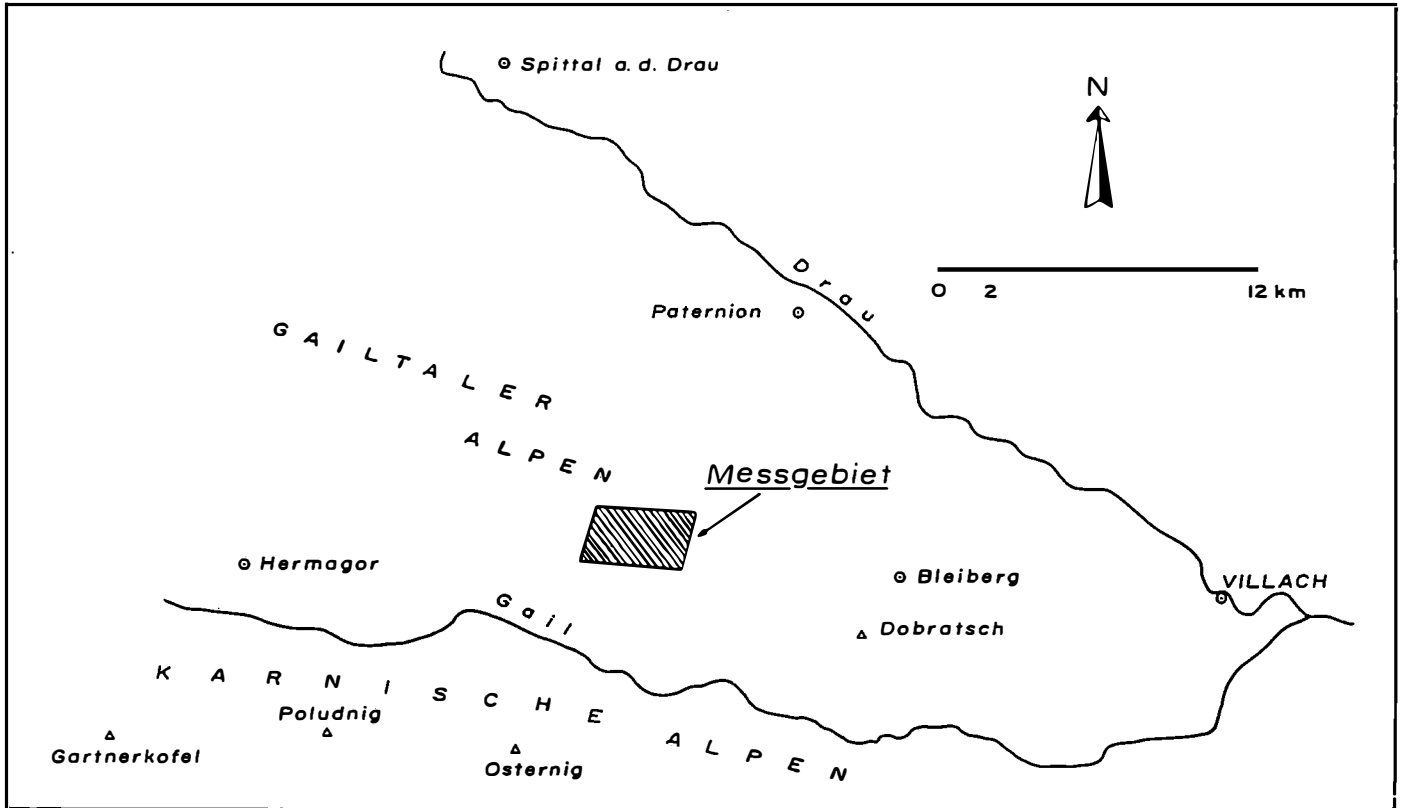


Abb. 1: Lage des Meßgebietes

2. Planung und Durchführung des Meßprogrammes:

2.1. Grundlagen der I.P.-Messungen:

Der Induzierte - Polarisations - Effekt (I.P.-Effekt) kann an Mineralassoziationen - insbesondere an Vererzungen - beobachtet werden, wenn sich eine bestimmte Verteilung der elektrischen Ladungen (Polarisationen) in der Mineralmatrix einstellt.

Die sogenannte **Elektrodenpolarisation** tritt dann auf, wenn sich der Modus der elektrischen Leitfähigkeit (Elektronenleitung - Ionenleitung) ändert. Dies trifft z.B. für ein in einer mit Porenflüssigkeit gefüllten Gesteinskapillare eingelagertes Erzkorn zu (siehe Abb.2).

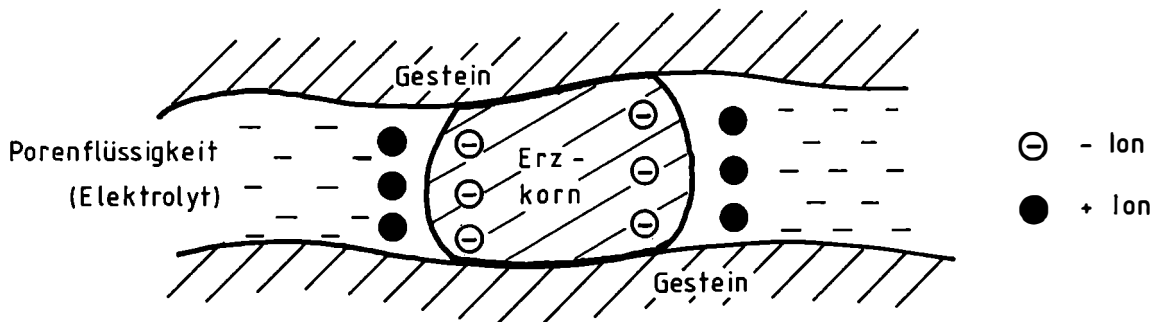


Abb.2: Die elektrische Ladungsverteilung an der Grenze Porenflüssigkeit - Erzkorn.

Weiters kann der I.P.-Effekt auch an Mineralien wie z.B. den Tonmineralien beobachtet werden, die ihrer Struktur nach eine abweichende elektrische Ladungsverteilung aufweisen. Dieser Effekt wird als **Membranpolarisation** bezeichnet.

Wird nun ein äußeres elektrisches Feld an ein polarisierbares Medium angelegt, so verhält sich dieses ähnlich einem Kondensator. Bei den **Zeitbereichsmessungen** wird nach dem Abschalten des Primärstromes die Spannung (V_s) des induzierten Feldes (siehe Abb.3), sie ist ein Indikator für den I.P.-Effekt, gemessen. Als Meßgröße für die Zeitbereichsmessung wird die sogenannte Chargeabilität (Ch) verwendet. Sie ist ein Maß für den zeitlichen Verlauf der Sekundärspannung (V_s) gemäß der Abb. 3 und hat die Dimension einer Zeit (Millisekunde).

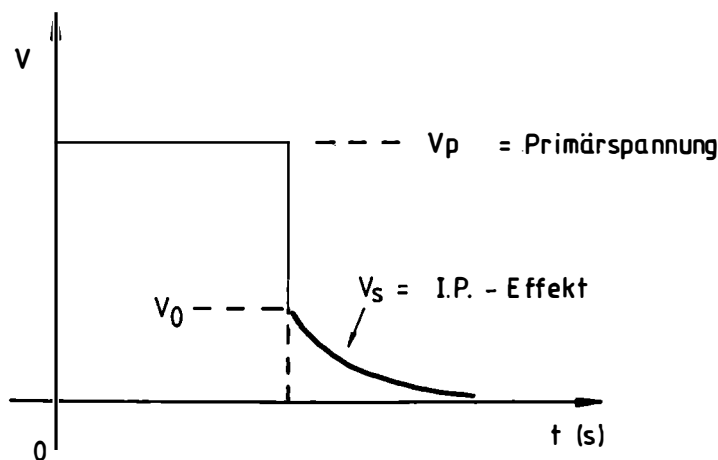


Abb.3: Der I.P.-Effekt bei Zeitbereichsmessungen

Im Vergleich zum oben erwähnten Kondensatormodell nimmt beim Abschalten des Primärstromes die Spannung nicht von V_p mit der Zeit (t) ab, sondern fällt unmittelbar auf den Spannungswert V_0 und klingt erst dann mit t ab.

Im Rahmen dieses Projektes wurden neben den eben erwähnten Zeitbereichsmessungen auch Messungen im **Frequenzbereich** durchgeführt. Bei diesem Meßverfahren werden elektrische Wechselfelder mit unterschiedlichen Frequenzen benutzt. In diesem Fall nimmt der elektrische Widerstand des polarisierbaren Mediums mit größer werdender Frequenz (f) ab (Abb.4).

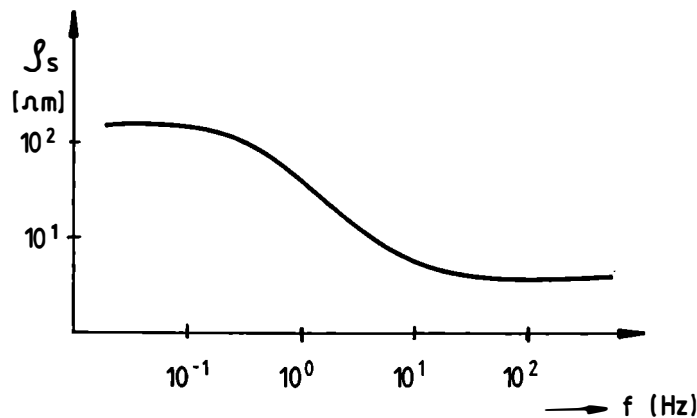


Abb.4: Der I.P.-Effekt bei Frequenzbereichsmessungen.

Als Meßgröße für die I.P.-Messungen im Frequenzbereich dienen der "prozentuelle Frequenzeffekt = PFE " und der "Metallfaktor = MF ". Dabei gilt für den

$$PFE = \frac{\rho_{DC} - \rho_{AC}}{\rho_{AC}} \cdot 100$$

und für den

$$MF = \frac{\rho_{DC} - \rho_{AC}}{\rho_{AC} \rho_{DC}} \cdot 10^3$$

ρ_{AC} ist der elektrische Widerstand bei 4 Hz und ρ_{DC} bei 0,25 Hz. Die hier gewählte Definition des MF ist bis auf einen dimensionslosen Faktor ($2\pi \cdot 10^2$) unterschiedlich zu der im Anhang gebrachten Beziehung (3). Genauere Angaben über die bei den I.P.-Messungen verwendeten Meßgrößen können dem Anhang A entnommen werden.

Ergänzend sei hier noch festgestellt, daß die Zeitbereichs- und Frequenzbereichsmessungen äquivalent sind und über die Laplacetransformation miteinander verknüpft werden können.

Weil bei den I.P.-Messungen mit dem Empfänger auch die Primärspannung V_p und die Stromstärke I beim Sender gemessen wird, kann über das Ohm'sche Gesetz und nach der rechnerischen Berücksichtigung der geometrischen Parameter der jeweiligen Meßanordnung der scheinbare spezifische Widerstand des Untergrundes bestimmt werden.

Zusätzlich zum I.P.-Effekt und dem elektrischen Widerstand können noch, auf natürliche elektrische Felder beruhende Stromsysteme (Eigenpotentialmessungen), meßtechnisch erfaßt werden.

2.2. Meßausrüstung:

Die Messungen des Induzierten - Polarisations - Effektes im Raum Erlachgraben – Windische Höhe wurden mit folgenden Geräten durchgeführt:

a) Zeitbereichsmessungen:

- Sender der Fa. Phönix (IPT-1, AC 3000) mit einer Maximalleistung von 3 kW. Zum Sender gehört ein 3 - Phasengenerator, der durch einen Benzinmotor (8 PS) angetrieben wird.
- Zeitbereichsempfänger der Fa. Huntec (M-4). Diese Apparatur erlaubt die Bestimmung der Chargeabilität in mehreren unterschiedlichen Meßintervallen.

b) Frequenzbereichsmessungen:

- thyristorgesteuerter Sender der Fa. Phönix (IPT-1, AC 3003) mit einer Maximalleistung von 3 kW. Für diesen Sender wird der gleiche Generator bzw. Benzinmotor wie für die Zeitbereichssender benutzt.
- Einen Siebenkanalempfänger (IPV-3, Fa. Phönix) mit dem die elektrischen Spannungen simultan an 6 Dipolen gemessen werden können. Der Sender steuert über ein Verbindungskabel die Taktfrequenz des Senders.

Weitere technische Einzelheiten der Meßapparatur können dem Anhang B entnommen werden.

2.3. Durchführung der Messungen:

Die Messungen des I.P.-Effektes erfolgen meist entlang von Profilen, die möglichst senkrecht zum allgemeinen geologischen Streichen im Untersuchungsgebiet angelegt werden sollen.

Bei dem gegenständlichen Meßprogramm wurden folgende Profile mit Zeitbereichsmessungen vermessen (siehe Beilage 1):

- Profile WH1 und WA5 in etwa parallel zur Straße Windische Höhe — Kote 1026
- Profil WA4 von der Kote 1430 (Witzala) Richtung NE
- Profile WA1, WA2, WA3 und WASP1 im Bereich der Wertschacher Alm.

Für eine detaillierte geophysikalische Erkundung wurde direkt beim Woschackstollen das Profil WASP1 angelegt, wobei in diesem Fall Messungen im Frequenzbereich zur Anwendung kamen.

Bei den Zeitbereichsmessungen wurde die sogenannte Pol – Dipolaufstellung (siehe Abb. 5) als Elektrodenanordnung gewählt. Dabei wurde sowohl der Abstand zwischen den beiden Meßelektroden M und N (l ; siehe Abb. 5) als auch die Distanz zum Strompol A (r ; siehe Abb. 5) mit 20 m festgelegt.

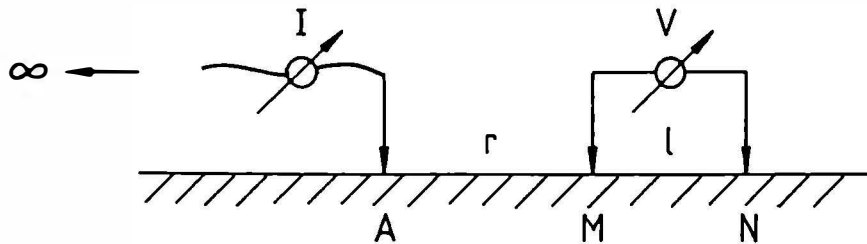


Abb. 5: Die Pol - Dipolmeßanordnung

Als Meßanordnung für die Frequenzbereichsmessungen kam die sogenannte Dipol - Dipol - Aufstellung zur Verwendung. Der dabei gewählte Elektrodenabstand betrug sowohl für den Sendedipol als auch für den Meßdipol 20 m. Die Distanz (r) zwischen dem Stromdipol und dem Meßdipol variierte von 40 m bis 140 m ($n = 1$ bis $n = 6$). Mit steigendem r können im allgemeinen auch Aussagen über die tieferen Bereiche des Untergrundes gewonnen werden. Eine schematische Darstellung der verwendeten Meßanordnung zeigt Abbildung 6.

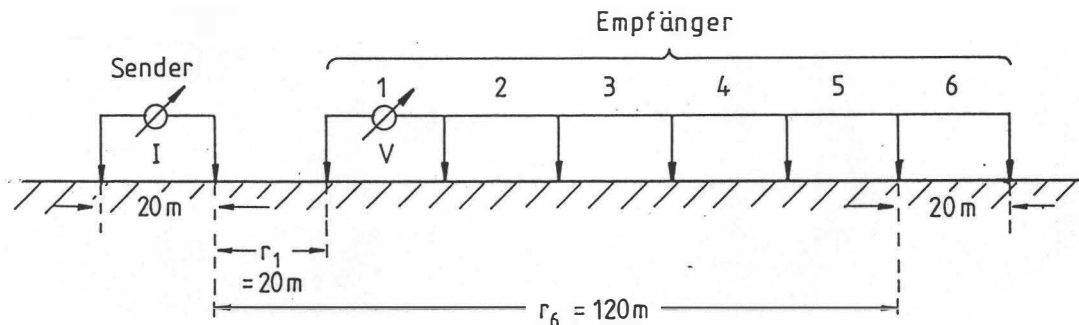


Abb.6: Die Dipol - Dipol - Meßanordnung

Die Messung der Spannung V erfolgte simultan an den 6 Meßdipolen. Anschließend wurde die Meßanordnung um 40 m entlang der Profilrichtung verlegt. Insgesamt erfolgten 21 Aufstellungen.

2.4. Personal:

Bei der Abwicklung der I.P.-Messungen im Herbst 1984 im Raum Erlachgraben Windische Höhe und bei deren Auswertung waren folgende Personen beteiligt:

Univ. Prof. Dr. Wolfgang Seiberl
Dipl. Ing. Alexander Biedermann
Dr. Herbert Heinz
Norbert Blaumoser
Manfred Göschke
Günther Reden
Christian Widhalm

3. Datendarstellung:

Die Ergebnisse der Zeitbereichsmessungen werden sowohl auf Isolinienplänen (scheinbarer spezifischer Widerstand, Chargeabilität) als auch entlang von Profilen (scheinbarer spezifischer Widerstand, Chargeabilität, Eigenpotentialgradient) wiedergegeben.

Die Darstellung der Frequenzbereichsmeßergebnisse (scheinbarer spezifischer Widerstand, prozentueller Frequenzeffekt, Metallfaktor) erfolgte hingegen in Form von sogenannten "Pseudosektionen". Dabei wird die Lage der Meßwerte durch die Mittelpunkte der Meßdipole festgelegt (siehe Abb.7).

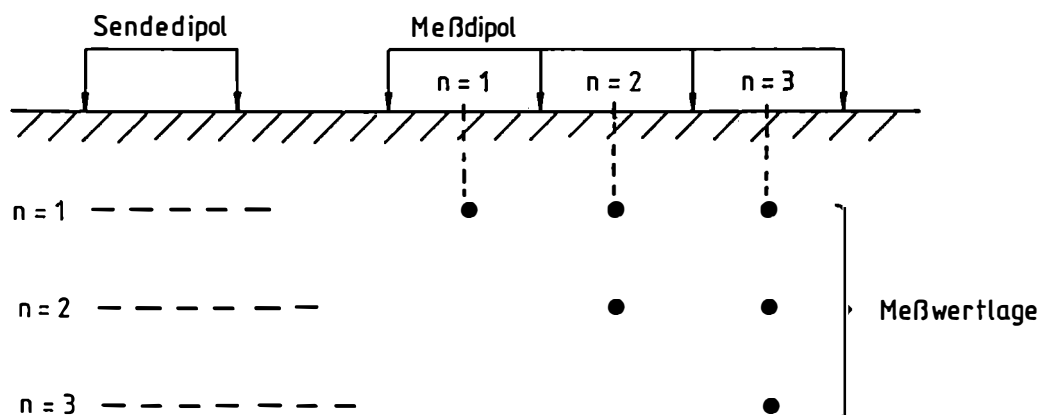


Abb.7: Zur Darstellung der Meßwerte in Form von Pseudosektionen.

4. Geologie des Meßgebietes:

Das Meßgebiet liegt westlich von Bad Bleiberg und ist schon seit geraumer Zeit durch zahlreiche Pb-Zn-Vorkommen bekannt (z.B. SCHERIAU - NIEDERMAYR, 1967). Es erstreckt sich zwischen der Kreuzener Straße (Windische Höhe) im Westen und dem Erlachgraben im Osten.

Die erzhöflichen Gesteine gehören der Drauzugpermotrias an, die unweit südlich des Meßgebietes von den karbonischen Schiefen und Sanden des Karbons von Nötsch unterlagert werden; bisher unbekannt ist Art und Form dieses Kontaktes.

Nach CERNY (1979) liegen die Pb-Zn-Vorkommen (nach lithostratigraphischen Vergleichsanalysen) in karnischen Schiefen und Kalken, innerhalb einer dolomitischen Folge, die über dem 3. Carditaschiefer-Horizont anzusiedeln sein dürfte. Die "Carditaschichten" ("Raibler Schichten", "Bleiberger Schichten") – auf die Fragen der Nomenklatur soll hier nicht eingegangen werden (vgl. hierzu BECHSTÄDT, 1978) – stellen im Idealprofil eine rhythmische Abfolge von Peliten und Karbonaten dar: über einem ersten, sandigen und pyritführenden Schieferhorizont folgen Kalke mit Ooiden, Dolomitlagen und Stromatolithen, die ihrerseits vom 2. Schiefer, mergelig ausgebildet, überlagert werden. Die zweite Karbonatserie besteht aus plattigen Kalken, die nach Zwischenschaltung einer Grobonkolithlage von den 3. Schiefen abgelöst werden, auf die wiederum Karbonate folgen, die mit Rauhwacken und einer Plattenkalkentwicklung im Idealprofil der Drauzugtrias an den Hauptdolomitgrenzen (HOLLER, 1951; KRAUS, 1969; SCHULZ, 1970; BECHSTÄDT, 1978).

Die Pb-Zn-Mineralisierung selbst ist an graue, grobgebankte Dolomite gebunden, die zum Teil charakteristische rauhwackige Verwitterung zeigen und stellenweise auch brecciös entwickelt sind (CERNY, 1979). Diese tektonisch reduzierte karnische Dolomitentwicklung wird – gleichfalls tektonisch – im Norden und Süden durch steilstehende Brüche begrenzt, die sie im Norden von den Wettersteindolomitmassen des östlichen Drauzuges und im Süden von einem schmalen Hauptdolomitzug, der sich mit Unterbrechungen bis Bad Bleiberg und Mittewald ob Villach fortsetzt, trennen. Somit bildet dieses karnische Gesteinsspaket eine Scholle, die von Ost - West streichenden Brüchen begrenzt wird.

In unmittelbarer Umgebung der Wertschacher Alm wurden zwei Bohrungen abgeteuft, wobei in mehreren Tiefenbereichen Pb-Zn-Mineralisierung angetroffen wurde (CERNY, 1979).

5. Ergebnisse

5.1. Übersichtsmessungen

a) Scheinbarer spezifischer Widerstand (ρ_a)

In der Abbildung 8 ist der Verlauf der (ρ_a) - Werte in Form eines Isolinienplanes wiedergegeben. Dabei wurde ein Isolinienabstand von $1000 \Omega m$ gewählt. Im W des Untersuchungsgebietes ist die flächenhafte Verteilung von ρ_a wegen des großen Profilabstandes nur unsicher gegeben.

Der scheinbare spezifische Widerstand nimmt im Projektgebiet von W Richtung E zu. Vor allem entlang der Straße Windischen Höhe – Kote 1026 konnten die kleinsten ρ_a - Werte (unter $500 \Omega m$) festgestellt werden. Es machen sich hier die i.a. niedrigen Widerstände der Talböden bemerkbar. Möglicherweise entspricht diese Zone kleinerer Widerstandswerte jener Anomalie, die im Zuge der aerogeophysikalischen Vermessung des Drauzuges (siehe Punkt 1.) beobachtet werden konnte. NW der Wertschacher Alm steigen die elektrischen Widerstände auf über $10000 \Omega m$ an.

Die vier östlichen Profile zeigen, daß der Woschakstollen anscheinend in einem W - E streichenden Bereich angeschlagen worden ist, der sich durch niedrige elektrische Widerstände (ρ_a $600 - 700 \Omega m$) auszeichnet. Die Streichlänge dieser Zone dürfte mehrere hundert Meter betragen. Sie könnte eine Indikation für eine der im Abschnitt "Geologie des Meßgebietes" erwähnte W - E verlaufenden Störungen sein.

In den Abbildungen 10 bis 16 sind die im Untersuchungsgebiet beobachteten Widerstandswerte auch in Form von Profilen dargestellt.

b) I.P.-Effekt (Chargeabilität)

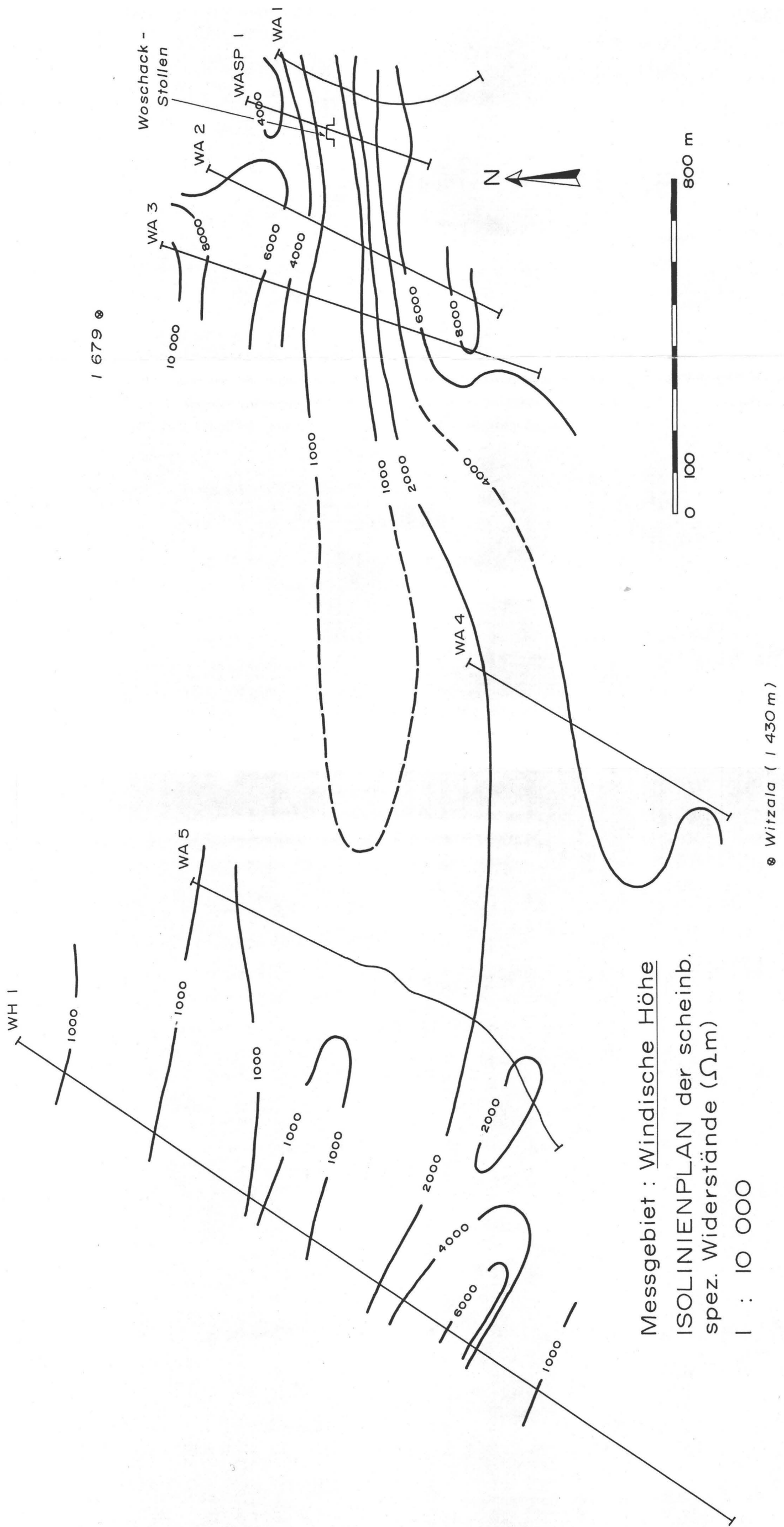
Bei Betrachtung der Abb. 9 – sie zeigt die flächenhafte Verteilung der Chargeabilität im Projektgebiet – erkennt man, daß i.a. nur sehr kleine Ch-Werte zwischen der Windischen Höhe und der Wertschacher Alm festgestellt werden konnten. Die Werte schwanken zwischen ca. 2 und 6 ms, wobei sich der Background zwischen 2 und 3 ms bewegen dürfte.

Ähnlich wie für den scheinbaren spezifischen Widerstand muß hier erwähnt werden, daß wegen der großen Profilabstände im W des Untersuchungsgebietes, hier die Chargeabilität nur unsicher erfaßt werden konnte.

Trotzdem war es möglich, einige Zonen mit Ch-Werten über 5 ms festzustellen. Dazu zählen neben einigen Bereichen entlang der Straße Windische Höhe – Kote 1026 auch die nähere Umgebung um den Woschakstollen. Anscheinend läßt sich im E - Teil des Projektgebietes die Zone geringen elektrischen Widerstandes (siehe Punkt 5.1.a) in etwa mit einem entsprechenden Bereich etwas erhöhter Chargeabilitätswerte korrelieren. Dies kann aus der Sicht der Geophysik von gewissem Interesse sein.

Die im Westen beobachteten leicht erhöhten Ch-Werte dürften auf Membranpolarisationseffekte (siehe Punkt 2.1.) in den Talböden zurückzuführen sein.

Ergänzend zum Isolinienplan ist in den Abbildungen 10 bis 16 – gemeinsam mit den ρ_a -Werten – die Chargeabilität entlang der einzelnen Meßprofile wiedergegeben.

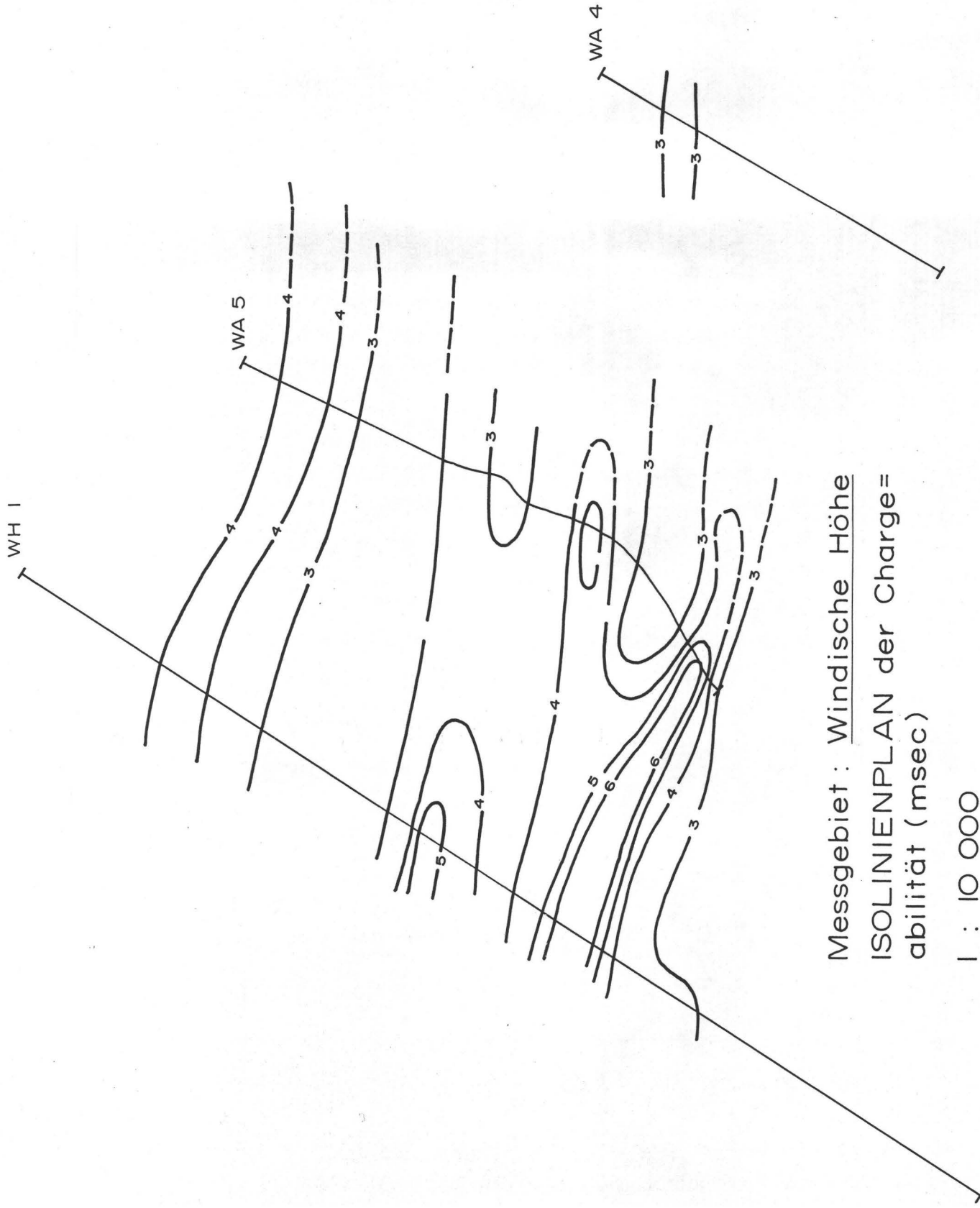


Messgebiet : Windische Höhe
 ISOLINIENPLAN der scheinb.
 spez. Widerstände (Ω m)
 1 : 10 000

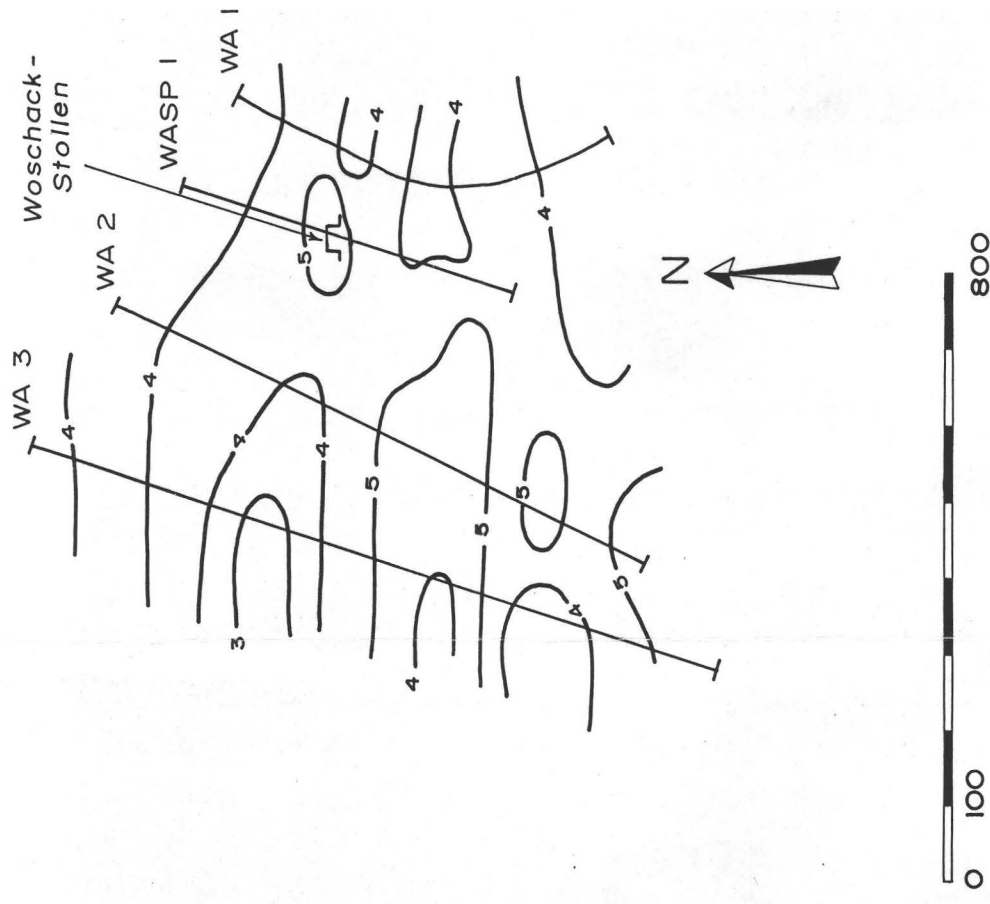
⊙ Witzala (1 430 m)

⊙ Weissofen (1 496 m)

Abb. 8



1 679 Ⓞ



Ⓞ Weisssofen (1 496 m)

Abb. 9

c) Eigenpotentialgradient (SP):

Für eine flächenhafte Darstellung des Eigenpotentialgradienten war der Profilabstand im Untersuchungsgebiet zu groß. Daher wurden die entsprechenden Werte nur in Form von Profilen wiedergegeben (Abb. 10 bis 16).

Bis auf eine sehr fragliche Anomalie im Bereich des Woschakstollens (Abb. 15 und 16) zeigt der Verlauf des Eigenpotentialgradienten im Projektgebiet kein anomales Verhalten.

5.2. Detailmessungen:

Entlang dem Profil WASP1 wurden detaillierte I.P.-Messungen im Frequenzbereich durchgeführt. Die Datenwiedergabe erfolgte in Form von "Pseudosektionen" (Siehe Punkt 3., Abb.7). Dabei muß bedacht werden, daß die Beilage 2 kein echtes Tiefenprofil darstellt, sondern nur eine qualitative Aussage über den Tiefenverlauf der geophysikalischen Parameter erlaubt. Eine quantitative Auswertung kann nur über eine Modellrechnung erfolgen. Durch die spezielle Datenwiedergabeform der Pseudosektion wird ein Einfallen der geophysikalisch erfaßten Strukturen Richtung S vorgetäuscht. Das wirkliche Einfallen kann wiederum nur durch eine Modellrechnung bestimmt werden.

Im oberen Teil der Beilage 2 ist der scheinbare spezifische Widerstand (ρ_a) für 1 Hz wiedergegeben. Entsprechend der Abb. 8 erkennt man, daß der Woschakstollen in einer Zone geringen Widerstands angeschlagen worden ist. Letztere dürfte eine größere Tiefenerstreckung haben, da sie auch mit der größten Dipolaufstellung ($n=6$; siehe Abb. 6) deutlich zu erkennen ist.

Der mittlere und untere Teil der Beilage 2 zeigt den Verlauf des I.P.-Effektes (PFE = prozentueller Frequenzeffekt und MF = Metallfaktor; siehe Punkt 2.1.) entlang dem Profil WASP1. Deutlich zeigen sowohl die PFE als auch der MF zwischen den Profilmeter 190 und 250 erhöhte Werte. Diese könnten ein Hinweis auf die im Bereich des Woschakstollens erbohrten Mineralisierungen sein.

5.3. Modellrechnungsergebnisse:

Extreme topographische Meßbedingungen, wie sie z.B. im Bereich der Wertschacher Alm vorliegen, machen sich in den Meßergebnissen bemerkbar (FOX, et al., 1978). Es wurde daher im Rahmen dieses Projektes versucht, eine Vorstellung über die Größe des topographischen Effektes auf die Widerstandsmessungen numerisch zu erfassen.

Dazu wurde der Verlauf des Geländes entlang des Profiles WASP1 digitalisiert (siehe Beilage 3) und den Gesteinen ein einheitlicher, spezifischer, elektrischer Widerstand von 1000 Ωm zugeordnet. An Hand eines auf der Theorie der finiten Elemente beruhenden Rechenprogrammes (PUSTIŠEK, 1984) wurde nun der Einfluß des Geländes berechnet. In der Beilage 3 ist dieser, zur besseren Vergleichbarkeit mit der Beilage 2, wiederum in Form einer Pseudosektion dargestellt. Man erkennt aus dieser Beilage, daß ein erheblicher Anteil des im Bereich des Woschakstollens beobachteten Widerstandsminimums nur auf die Topographie zurückgeführt werden kann.

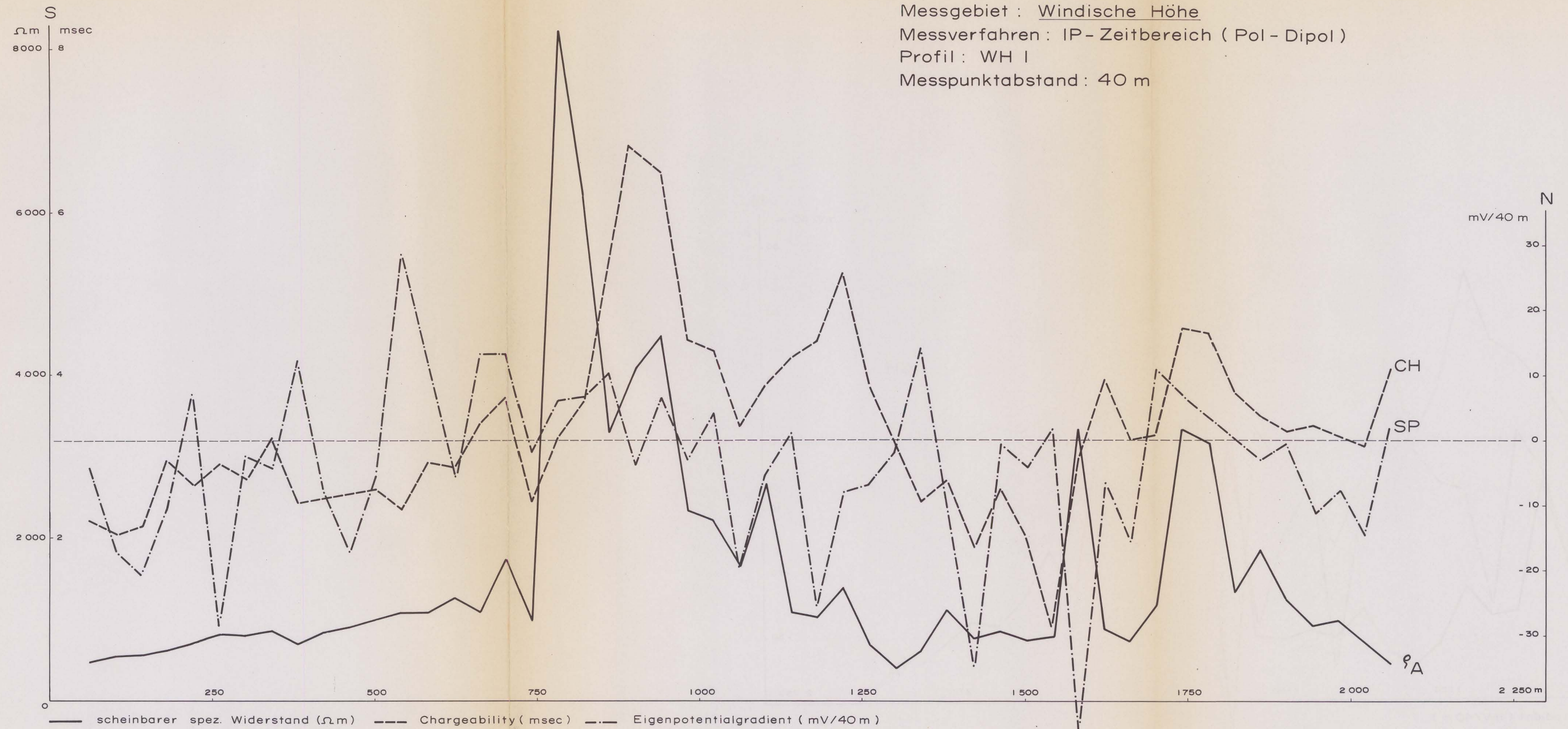


Abb. 10

Messgebiet: Windische Höhe
 Messverfahren: IP - Zeitbereich (Pol - Dipol)
 Profil: WA 5
 Messpunktabstand: 40 m

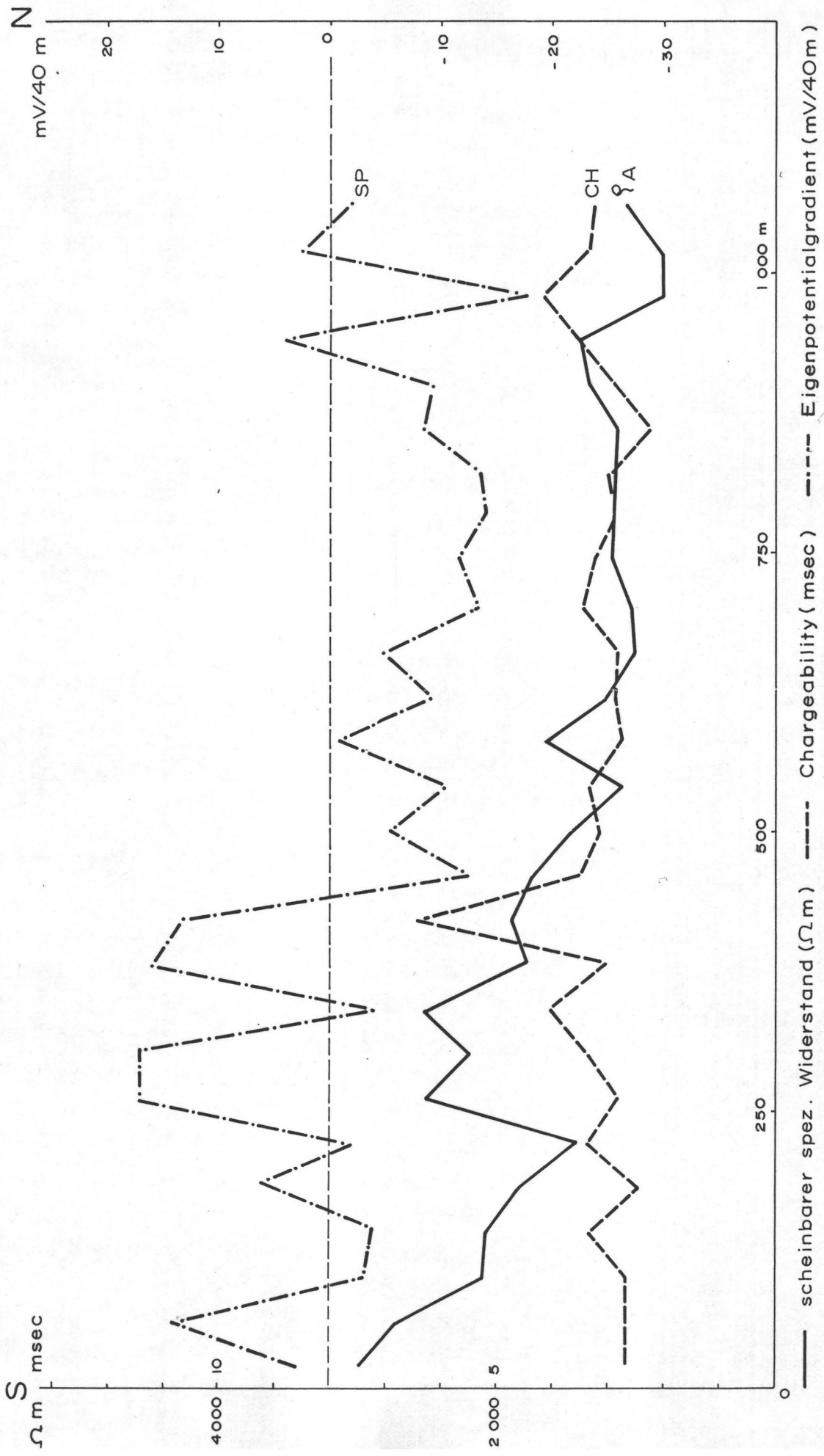


Abb. 11

Messgebiet Windische Höhe

Messverfahren: IP-Zeitbereich (Pol - Dipol)

Profil: WA 4

Messpunktabstand: 40 m

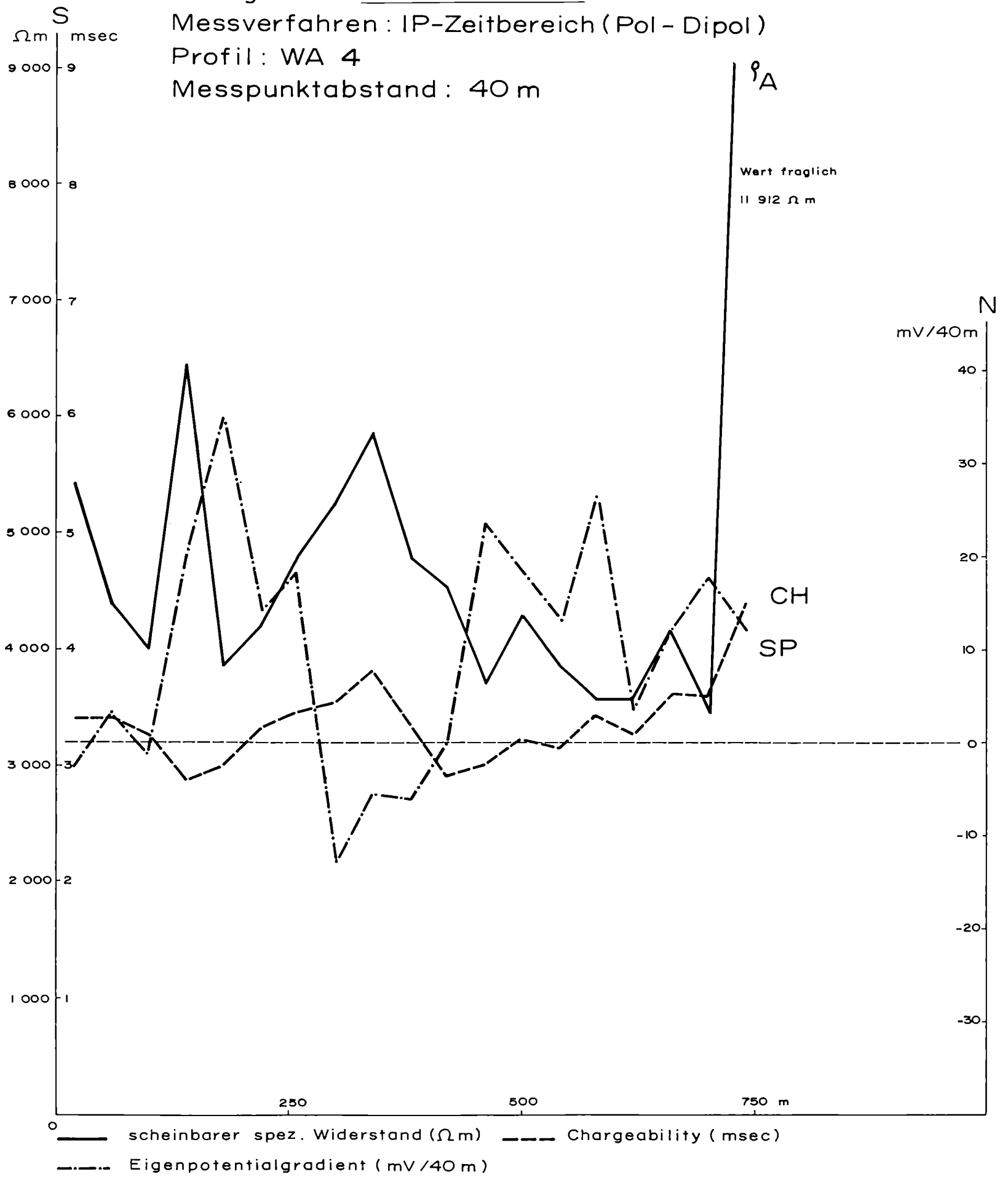
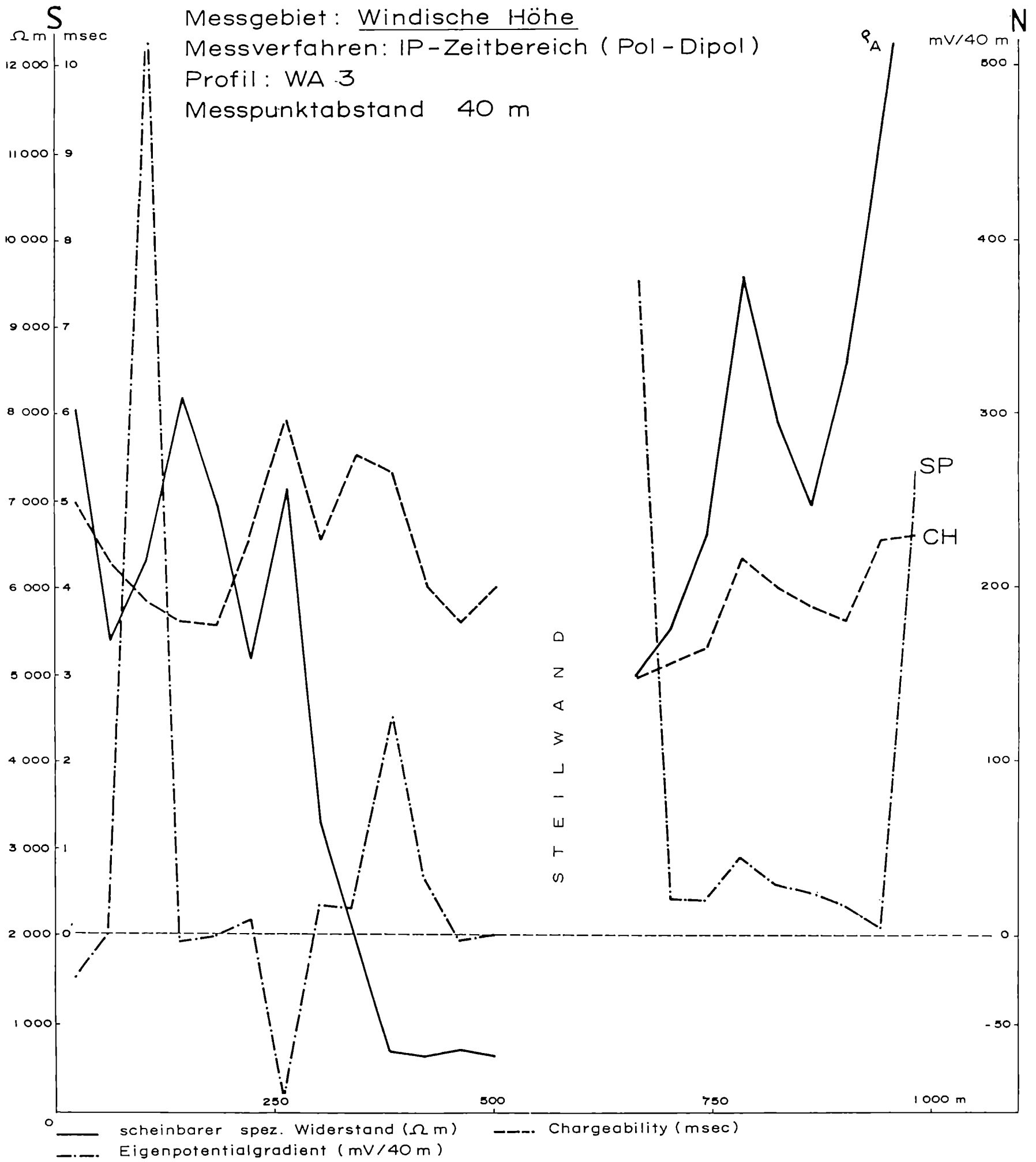


Abb. 12

Abb. 13



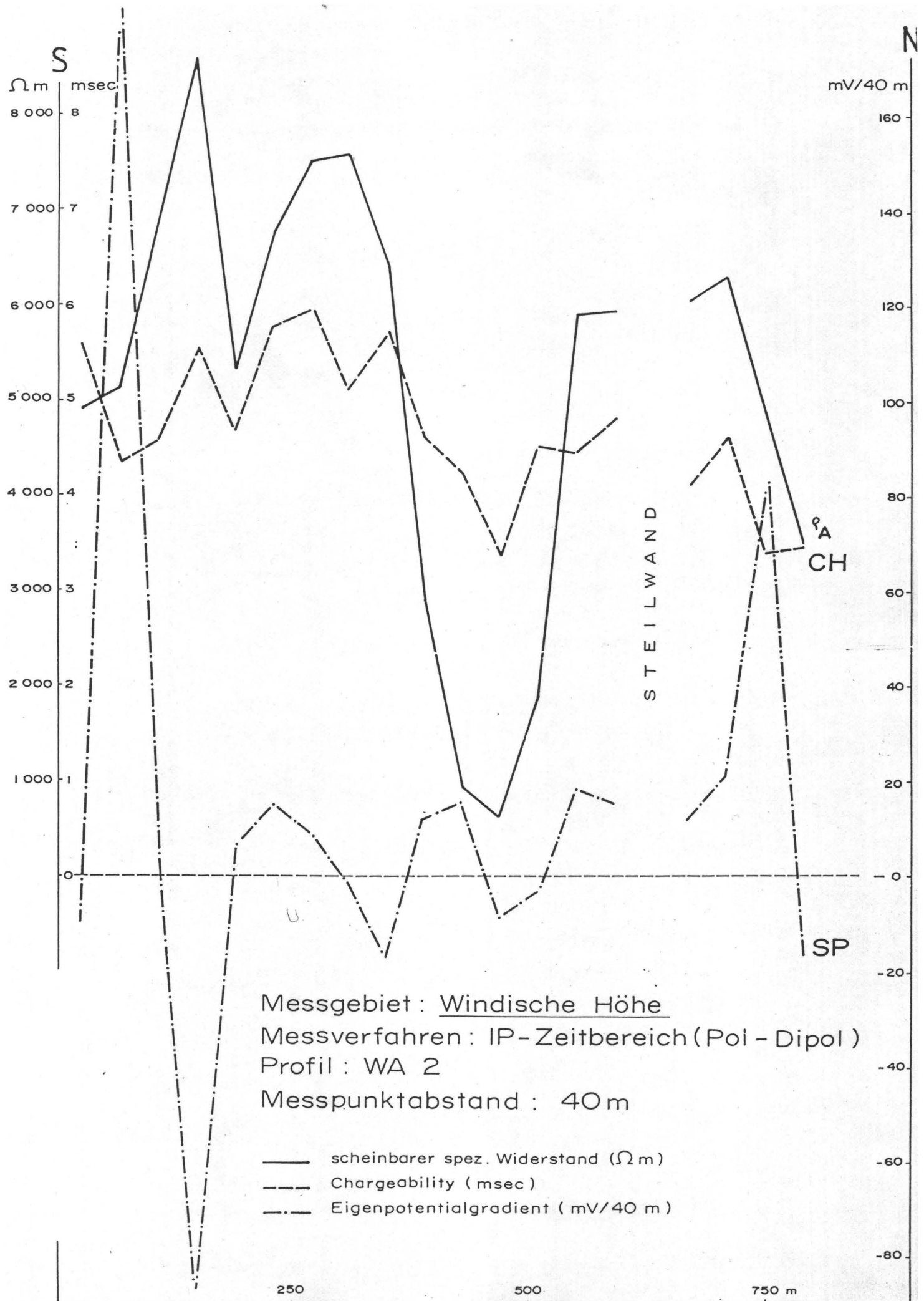


Abb. 14

Messgebiet : Windische Höhe
 Messverfahren : IP - Zeitbereich (Pol - Dipol)
 Profil : WASP I
 Messpunktabstand : 20 m

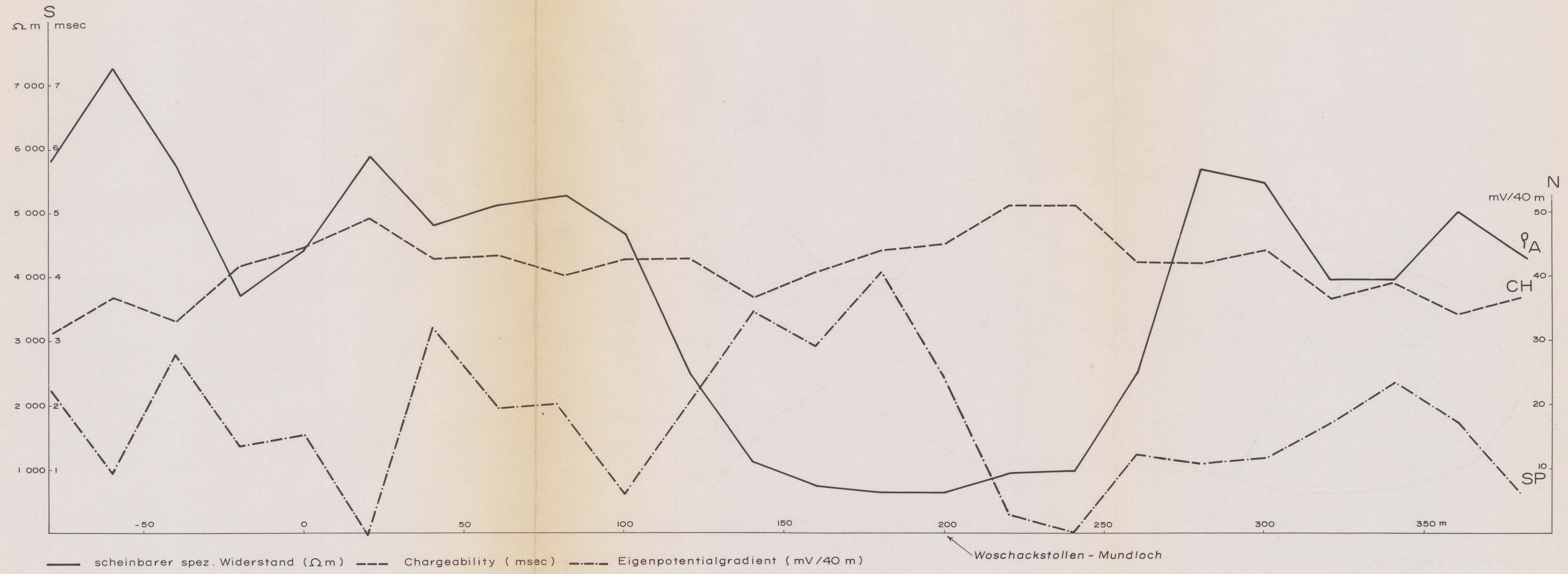


Abb. 15

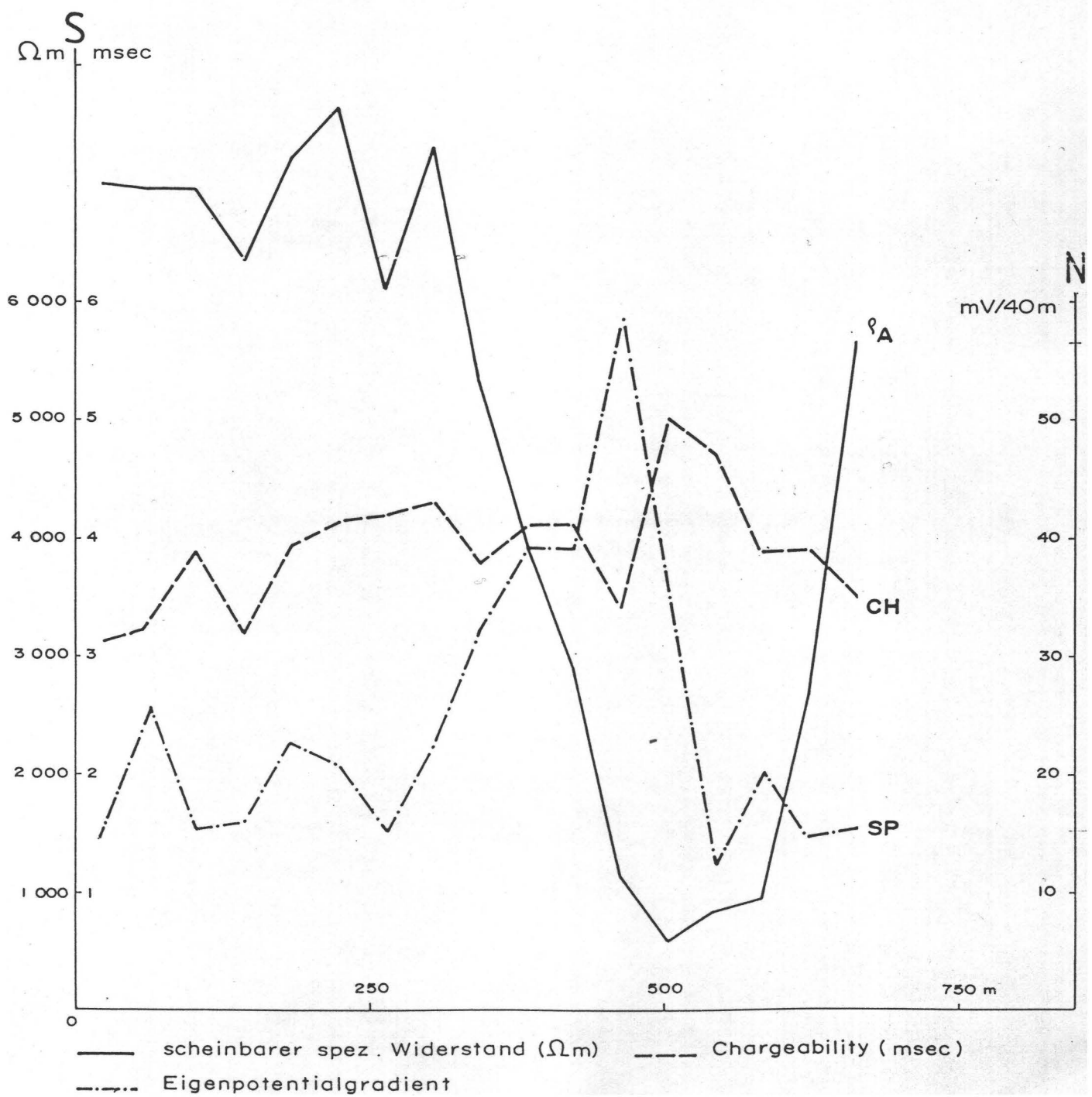
Abb. 16

Messgebiet: Windische Höhe

Messverfahren: IP - Zeitbereich (Pol - Dipol)

Profil: WA I

Messpunktabstand: 40 m



6. Empfehlungen:

Obwohl sich im Bereich des Woschakstollens die dort erbohrte Mineralisierung nur durch sehr kleine Werte des I.P.-Effektes bemerkbar macht, sollte die Richtung W streichende Zone

- durch eine bodengeochemische Beprobung und
- eventuell durch weitere detaillierte Messungen des I.P.-Effektes (Frequenzbereichsmessungen)

genauer untersucht werden.

7. Literatur:

- BECHSTÄDT, Th.: Faziesanalyse permischer und triadischer Sedimente des Drauzuges als Hinweis auf eine großräumige Lateralverschiebung innerhalb des Ostalpins. – Jb. Geol.B.-A., 121, Wien 1978
- CERNY, I.: Forschungsbericht "Geologische Untersuchungs- und Prospektionsarbeiten westlich von Bleiberg (Kobesnock – Tschekelnock)". – Unveröff. Ber., Archiv GBA, Nr. 05121, Wien - Bleiberg 1979
- COLE, K.S., COLE, R.H.: Dispersion and absorption in dielectrics. – J. Chem. Phys., vol.9, p. 341, 1941
- FOX, R.C., HOHMANN, G.W., RIJO, L.: Topographic Effects in Resistivity Surveys. – Contract-report Nr. EG-78-C-07-1701., Earth Science Lab., Univ. Utah, Salt Lake City 1978
- GRISSEMANN, C.: Examination of the frequency dependent conductivity of ore-containing rock on artificial models. – Scientific report No. 2, Electronics Laboratory University of Innsbruck, Austria, 1971
- HOLLER, H.: Die Stratigraphie der karnischen und norischen Stufe in den östlichen Gailtaler Alpen. – Berg. u. Hüttermänn. Mh., 96, Wien 1951
- KRAUS, O.: Die Raibler Schichten des Drauzuges (Südliche Kalkalpen). Lithofazielle, sedimentpetrographische und paläogeographische Untersuchungen. – Jb. Geol.B.-A., 112, Wien 1969
- MARSHALL, D.J., MADDEN, T.R.: Induced Polarization: A study of its causes. Geophysics, vol.24, pp. 790 – 816, 1959.
- PELTON, W.H., SMITH, B.D., SILL, W.R.: Interpretation of complex resistivity and dielectric data; Technischer Bericht der Fa. Phönix, Toronto 1978.
- PUSTIŠEK, A.: Eine Anwendung und ein Vergleich numerischer Methoden bei I.P.- und Widerstandsmodellrechnungen. – Unver. Diplomarbeit, Form.- u. Nat. Fak., Univ. Wien, Wien 1985
- SCHERIAU - NIEDERMAYR, E.: Geologie und geochemische Verteilung von Blei und Zink in den östlichen Gailtaler Alpen (Graslitzten – Kobesnock), Kärnten, Österreich. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 17, Wien 1967
- SCHULZ, O.: Vergleichende petrographische Untersuchungen an Karnischen Sedimenten der Julischen Alpen, Gailtaler Alpen und des Karwendels. – Verl. Geol.B.-A., 1970, Wien 1970
- SEIBERL, W., HEINZ, H.: Aerogeophysikalische Vermessung des Drauzuges (Auftragsforschungsprojekt KC-8/80). – Projektbericht Forschungsgesellschaft Joanneum, Leoben 1985.

WAIT,J.: Overvoltage research and geophysical applications; Pergamon-Press, London, 1959.

WONG,J.: An electrochemical model of the IP-phenomenon in disseminated sulfide ores: Paper presented at the 47th Annual International SEG-Meeting September 30 in Calgary, Alberta 1977.

8. Anhang

A. Grundlagen der Meßmethodik:

a) Ursachen des I.P.-Effektes:

Generell kann man von der Annahme ausgehen, daß es sich beim I.P.-Effekt um die Speicherung von elektrischer Energie handelt. Wie durch Laboruntersuchungen bewiesen wurde, ist diese gespeicherte Energie hauptsächlich elektrochemischer Natur, die einerseits von der Beweglichkeit der Ionen und Elektronen in der Porenflüssigkeit, andererseits von der Leitfähigkeit der Minerale abhängig ist. Weiters ist der Effekt auch eine Funktion der Gesteinsporosität sowie der Korngröße.

Es lassen sich zwei Arten der Induzierten Polarisation, die Membran- oder auch elektrolytische Polarisation und die Elektrodenpolarisation oder auch Overvoltage genannt, unterscheiden. Die Membranpolarisation liefert den Hauptanteil des I.P.-Effektes bei Tonmineralvorkommen wie etwa Bauxitlagerstätten. Aufgrund der stark anisotropen Eigenschaften der Tonminerale bildet sich an den Korngrenzen eine Potentialschwelle aus. Bei Wegfall der äußeren angelegten Spannung kommt es zur Rekombination der Ladungsträger sowohl in den Körnern als auch im Porenwasser. Der Unterschied in den Rekombinationsgeschwindigkeiten ist maßgebend für den I.P.-Effekt. Da die Beweglichkeit der Ladungsträger im Porenwasser und in den Tonmineralien nicht sehr groß ist, ist auch die Membranpolarisation nicht sehr ausgeprägt.

Im Gegensatz dazu ist bei der Elektrodenpolarisation die Beweglichkeit der Ladungsträger in den Erzkörnern, die sich im Porenwasser befinden (z.B. Cu-Vererzung) weitgehend von der metallischen Leitung geprägt. So entsteht hier ein wesentlich größerer Beitrag zum I.P.-Effekt.

b) Messung des I.P.-Effektes:

Die Beobachtung der Induzierten Polarisation oder des I.P.-Effektes ist eine relativ alte Technik (ca. um 1913) in der Explorationsgeophysik zur Erkundung von metallischen Vererzungen (vorwiegend sulfidische Cu-Vererzungen und Graphit) und Massenrohstoffen (Tone, Bauxit). Auch in Fragen der Grundwasserprospektion kann sie mitunter hilfreich sein. Schon vor mehr als 50 Jahren beschäftigten sich die Brüder SCHLUMBERGER mit Effekten, die bei gleichstromgeoelektrischen Untersuchungen auftraten. Diese Effekte nannten sie Induzierte Polarisation. Der Effekt läßt sich mit einer einfachen Vierpunktgleichstromelektrik beobachten. Unterbricht man den über die beiden Stromelektroden fließenden Strom abrupt, so geht die Spannung an den beiden Potentialelektroden nicht sofort auf 0 zurück, sondern klingt langsam ab. Abbildung A1 zeigt eine solche Vierpunktanordnung in Dipol - Dipol - Konfiguration. Bei größeren Dipolabständen ($n = 1, 2, 3, \dots$) sind Aussagen über tiefere Strukturen des Untergrundes möglich.

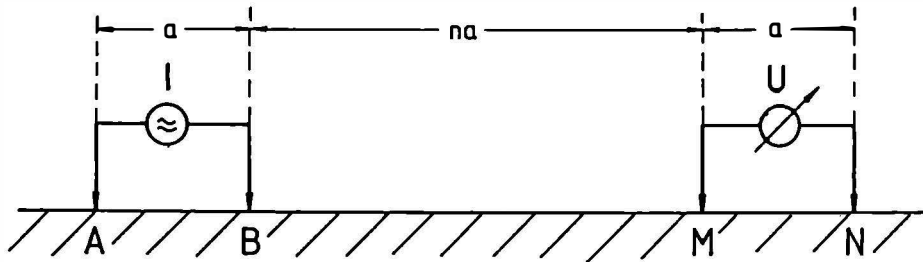


Abb.A1: Die Dipol-Dipol Meßanordnung

Die Abklingzeit kann dabei eine Größe von einigen Millisekunden bis Minuten betragen. Abbildung A2 zeigt schematisch den I.P.-Effekt im sogenannten Zeitbereich (Gleichstromgeoelektrik). Üblicherweise wird ein intermittierender Gleichstrom mit einer Periodenzeit von 8 Sekunden verwendet.

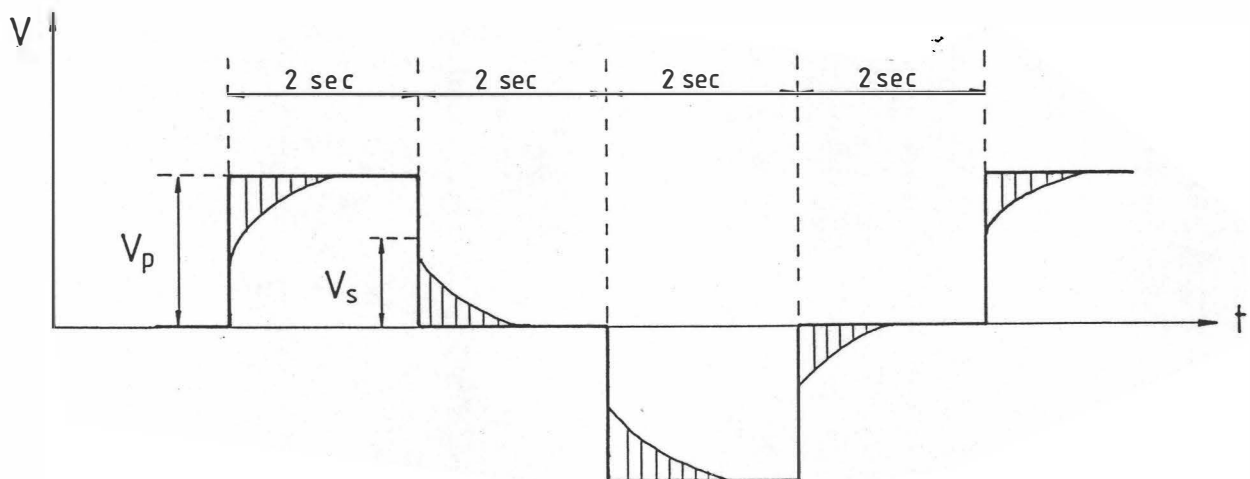


Abb.A2: Der I.P.-Effekt bei Zeitbereichsmessungen

Die Messung erfolgte immer an den fallenden Flanken der Rechteckimpulse. Der schraffierte Bereich ist ein Maß für den I.P.-Effekt. Vergleicht man das Abklingen des I.P.-Effekts mit der Kondensatorentladung, so läßt sich eine gute Übereinstimmung erkennen. Abbildung A3 zeigt beide Vorgänge.

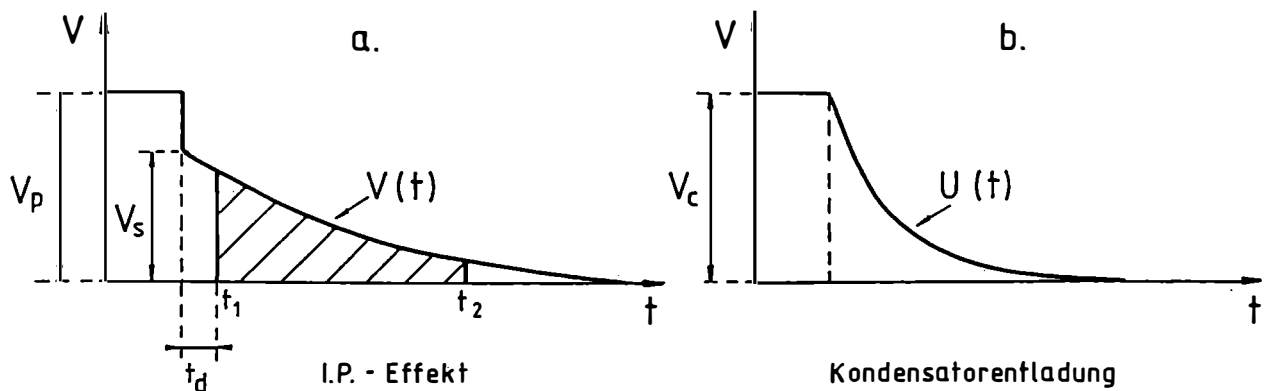


Abb.A3: Der Vergleich zwischen dem Abklingen des I.P.-Effekts und einer Kondensator-entladung.

Aufgrund der großen Ähnlichkeit erscheint es sehr plausibel, daß man den Bodenwiderstand als einen aus der Wechselstromphysik bekannten frequenzabhängigen Widerstand auffassen kann. Es muß daher möglich sein, den I.P.-Effekt mit Hilfe der Messung des elektrischen Widerstandes bei zwei oder mehreren Frequenzen zu beschreiben. Dieser Zusammenhang läßt sich auch mit Hilfe der Laplace-Transformation beweisen (PELTON et al., 1978). Dieser Eigenschaft wird bei Messungen im sogenannten Frequenzbereich, zum Unterschied zur vorherigen Betrachtungsweise im Zeit- oder Impulsbereich, Rechnung getragen. Der in Frage kommende Frequenzbereich erstreckt sich dabei von einigen Bruchteilen von Hz bis zu einigen kHz.

Die älteren Methoden beschränkten sich zumeist auf Messungen im Zeitbereich. Dabei wird der in Abbildung A3a schraffiert dargestellte Bereich zwischen t_1 und t_2 numerisch nach Formel (1) integriert bzw. meßtechnisch erfaßt und das Ergebnis in Millisekunden angegeben. Man nennt diese Meßgröße "Chargeabilität".

$$M = \frac{1}{V_p} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \quad (1)$$

Um Abschalteneffekte auszuschließen wird der Meßvorgang um die Delay-Zeit verzögert (t_d , siehe Abb.A3a) begonnen. Bei dieser Methodik ist jedoch die Möglichkeit zu berücksichtigen, daß grundsätzlich verschiedene Abklingkurven zur gleichen Meßgröße führen können. Weiters ist zu bemerken, daß ein bis zum nächsten Meßzyklus nicht abklingender I.P.-Effekt ebenfalls einen systematischen Meßfehlerbeitrag liefert.

Neuere und neueste Meßmethoden bevorzugen den Frequenzbereich. Wie schon erwähnt, wird dabei der elektrische Widerstand des Bodens in Abhängigkeit von der Frequenz bestimmt. Einen typischen Kurvenverlauf des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes zeigt Abbildung A4.

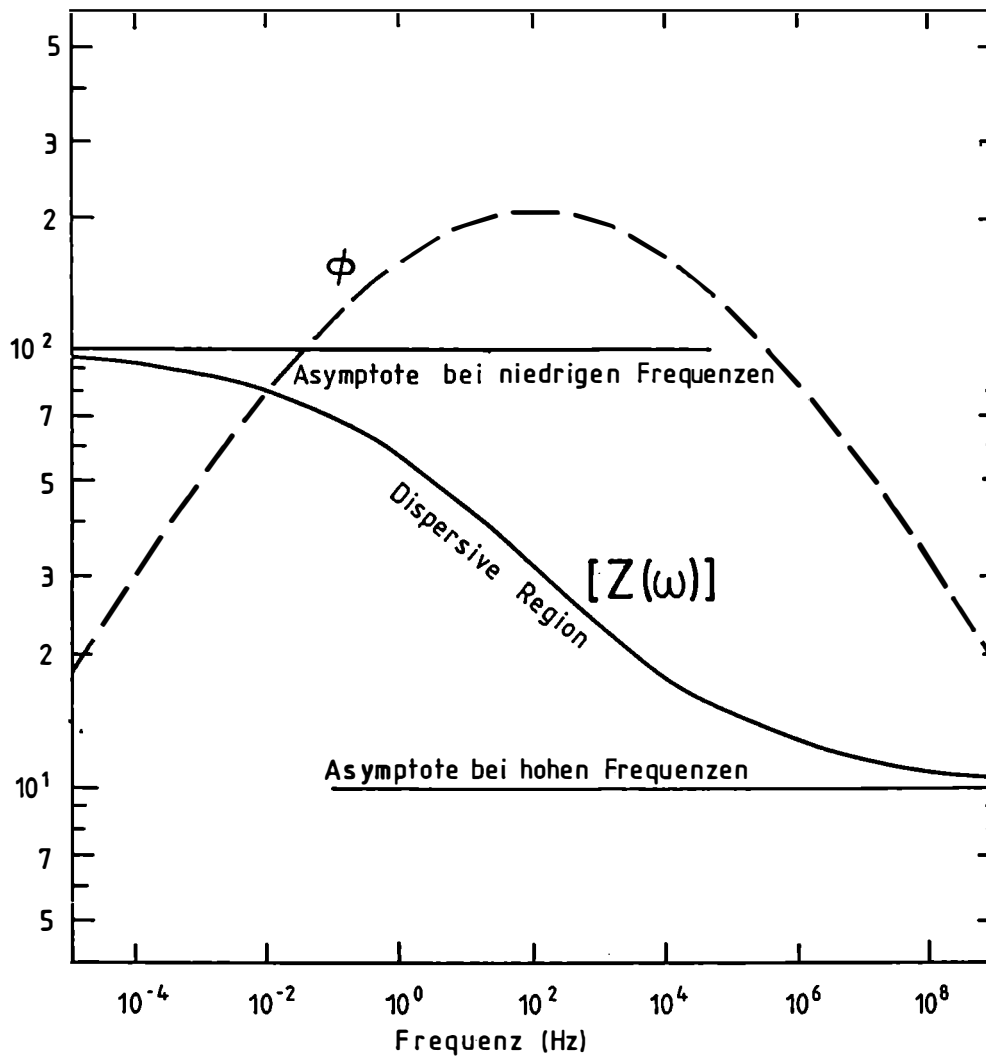


Abb.A4: Das Frequenzverhalten des scheinbaren spezifischen Widerstandes

Der Widerstand $Z(\omega)$ zeigt das Merkmal eines dispersen Mediums. Von einem asymptotischen Wert für sehr kleine Frequenzen fällt der Widerstand im dispersen Bereich asymptotisch auf einen Grenzwert für sehr hohe Frequenzen.

Zur Beschreibung des Frequenzeffektes, im weiteren kurz FE genannt, haben sich daher folgende Parameter eingebürgert:

— Der FE wird allgemein durch

$$FE = \frac{\rho_{DC} - \rho_{AC}}{\rho_{AC}} \quad (2)$$

definiert. Als prozentueller FE (PFE) versteht man die Größe $PFE = FE * 100\%$.

ρ_{AC} bedeutet hier den scheinbaren elektrischen Widerstand bei höheren Frequenzen, während ρ_{DC} den Gleichstromwiderstand darstellt.

— MARSHALL und MADDEN (1959) schlugen eine Modifizierung des FE vor, um die Eigenschaften des Umgebungsgesteins besser hervorzuheben, und definierten den Metallfaktor (MF) zu

$$MF = \frac{2\pi 10^5 FE}{\rho_{DC}} \quad (3)$$

Dieser Zahlenfaktor ist nicht mehr dimensionslos, sondern besitzt die Dimension einer elektrischen Leitfähigkeit.

Aufgrund neuester Technologien ist es heute möglich, den scheinbaren elektrischen Widerstand und die Phasenverschiebung bei einer ganzen Reihe von Frequenzen zu bestimmen und damit zu einer besseren Information zu kommen, als es die Beschreibung mittels oben genannter Parameter ermöglicht.

c) Modelle und Interpretation:

Aufgrund des oben beschriebenen Verhaltens des scheinbaren elektrischen Bodenwiderstandes, sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich, kann ein elektrisches Ersatzschaltbild für den I.P.-Effekt gefunden werden. Untersuchungen von COLE - COLE (1941) haben gezeigt, daß es sich um einen Dispersionsvorgang handeln muß, der durch folgende einfache Ersatzschaltbilder beschrieben werden kann (siehe Abb. A5).

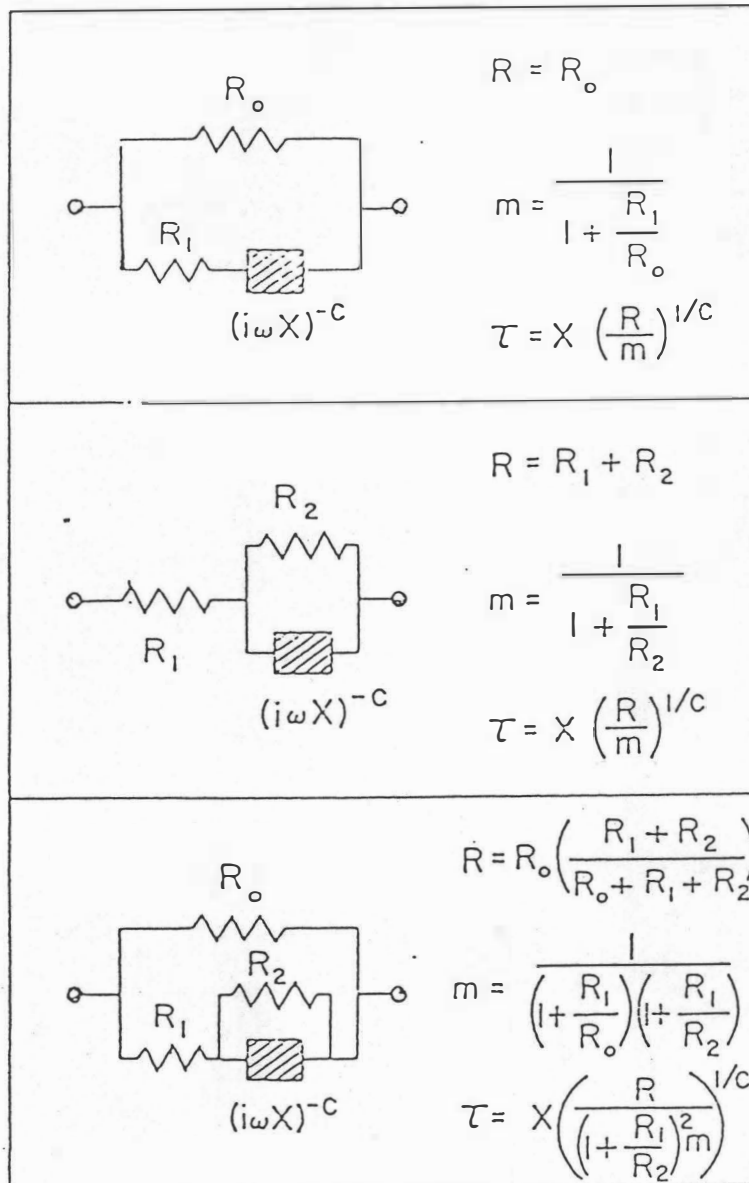


Abb.A5: Drei verschiedene komplexe Widerstände die jeweils den selben Cole - Cole Relaxationszusammenhang beschreiben.

Alle drei Beispiele lassen sich durch eine einheitliche Übertragungsfunktion ($Z(\omega)$) beschreiben. $Z(\omega)$ ist dabei folgendermaßen definiert:

$$Z(\omega) = R \left(1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right) \quad (4)$$

Dabei bedeuten :

R	Gleichstromwiderstand
$m = \frac{V_f}{V_p}$	Chargeabilität
τ	Zeitkonstante der Relaxation
c	Cole - Cole Parameter

Wie aus Abb.A3 zu ersehen ist, hat die Entladekurve beim I.P.-Effekt eine geringere Steigung als bei der Kondensatorentladung. Diesem Faktum wird mit dem sogenannten Cole - Cole - Parameter c Rechnung getragen. Berücksichtigt man nur den frequenzabhängigen Term von $Z(\omega)$ so erhält man folgenden Zusammenhang zwischen dem Verhältnis aus Beobachtungszeit t und Relaxationszeit τ einerseits und der normierten Abklingfunktion $\frac{V(t)}{mR}$ andererseits (siehe Abb.A6).

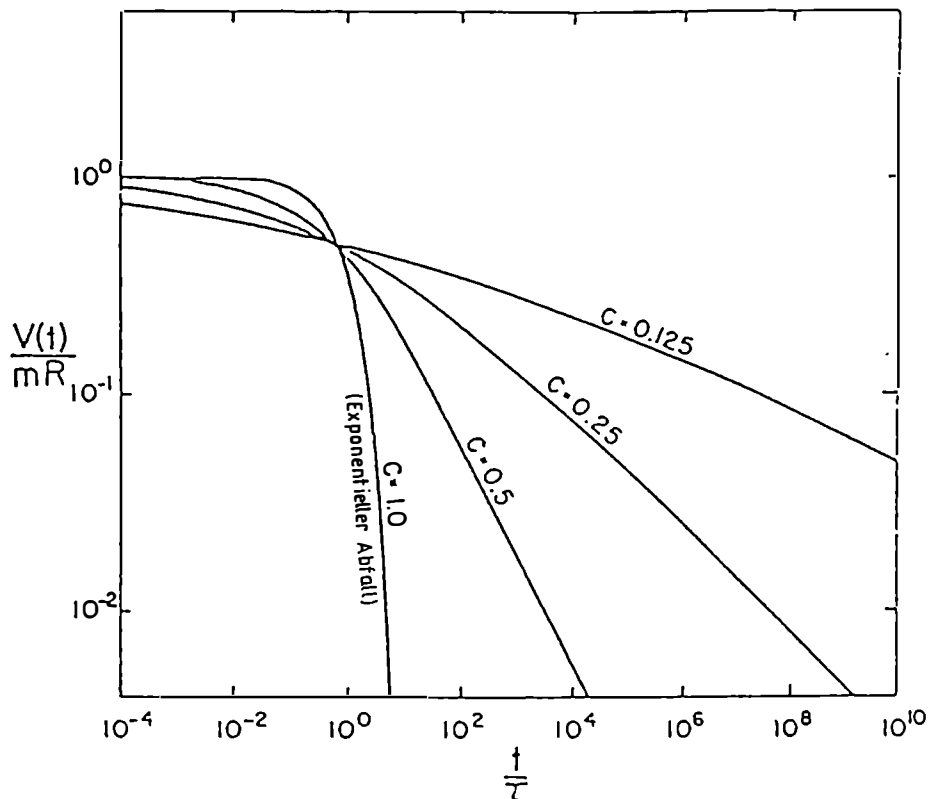


Abb.A6: Abklingkurven verschiedener Cole - Cole - Funktionen

Daraus ist ersichtlich, daß die Beobachtungszeit t nicht unabhängig von der Abklingzeit τ

gewählt werden kann. Die typischen 2 s. Schaltzeit in herkömmlichen I.P.-Apparaturen können bei besonders langen Relaxationszeiten zu großen Fehlern führen.

Abbildung A7 zeigt eine Gegenüberstellung von Zeit- und Frequenzbereichsmessungen. m_{obs} bedeutet dabei das beobachtete Verhältnis $\left(\frac{V_s}{V_p}\right)_{obs}$ und P die Impulslänge.

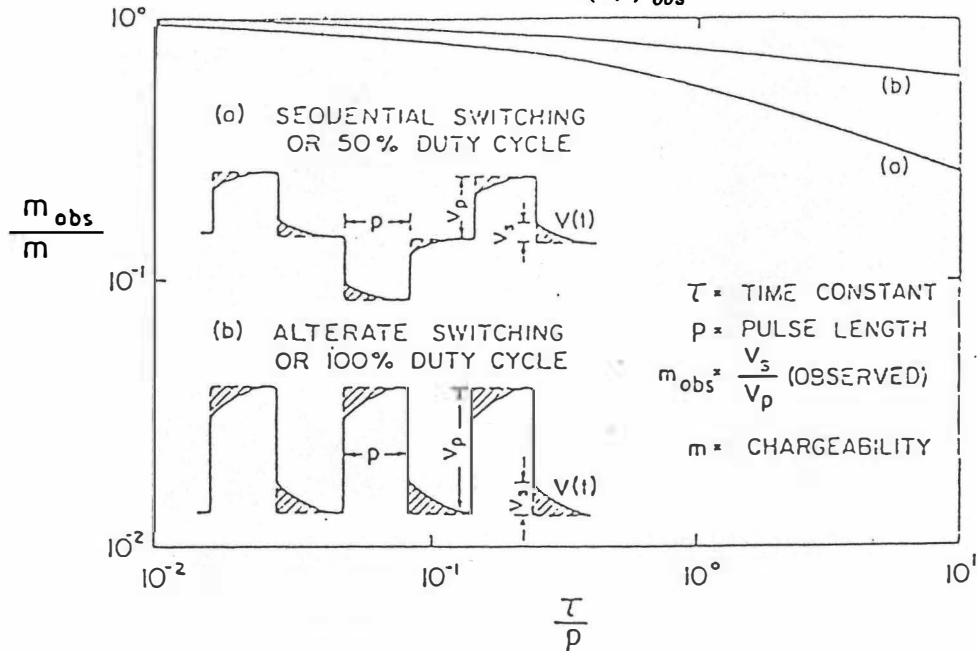


Abb.A7: Abklingen der Chargeabilität in Abhängigkeit von der Zeit
a) Zeitbereichsmessung
b) Frequenzbereichsmessung

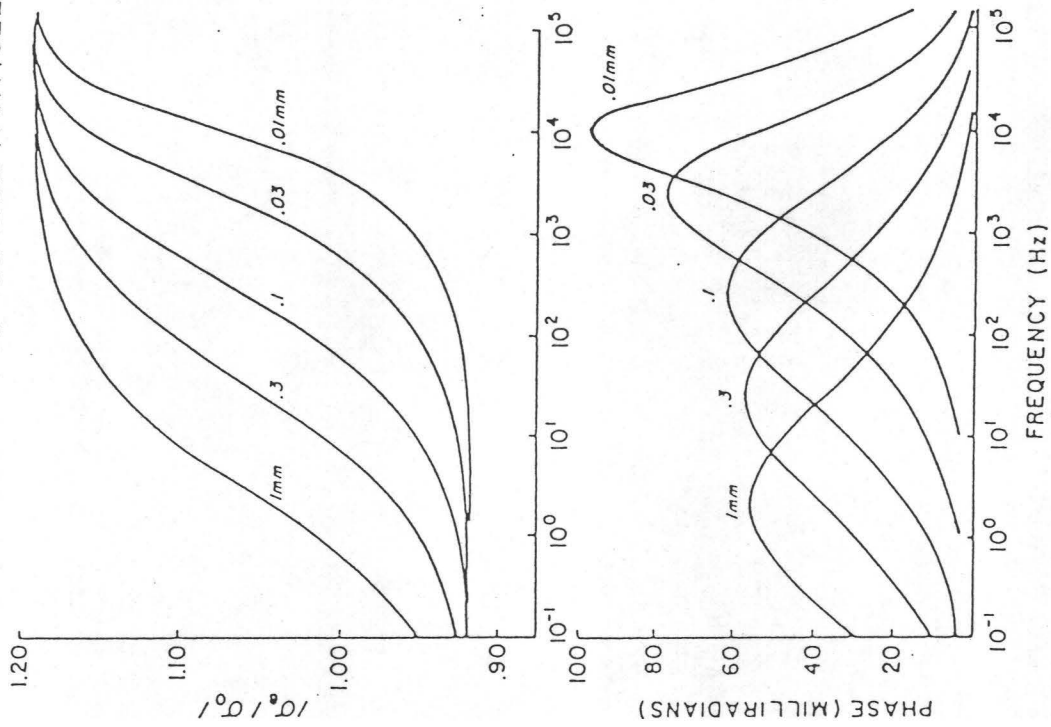
Man erkennt daraus klar, daß der Fehler bei der Beobachtung von m im Frequenzbereich deutlich geringer ist als im Zeitbereich. Der Unterschied ist umso größer, je länger die Relaxationszeit im Vergleich zum Einschaltimpuls wird. m ist dabei nach SEIGEL in: WAIT (1959) als Grenzwert der Form

$$m = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} V(t) - \lim_{t \rightarrow 0} V(t)}{\lim_{t \rightarrow \infty} V(t)} \quad (5)$$

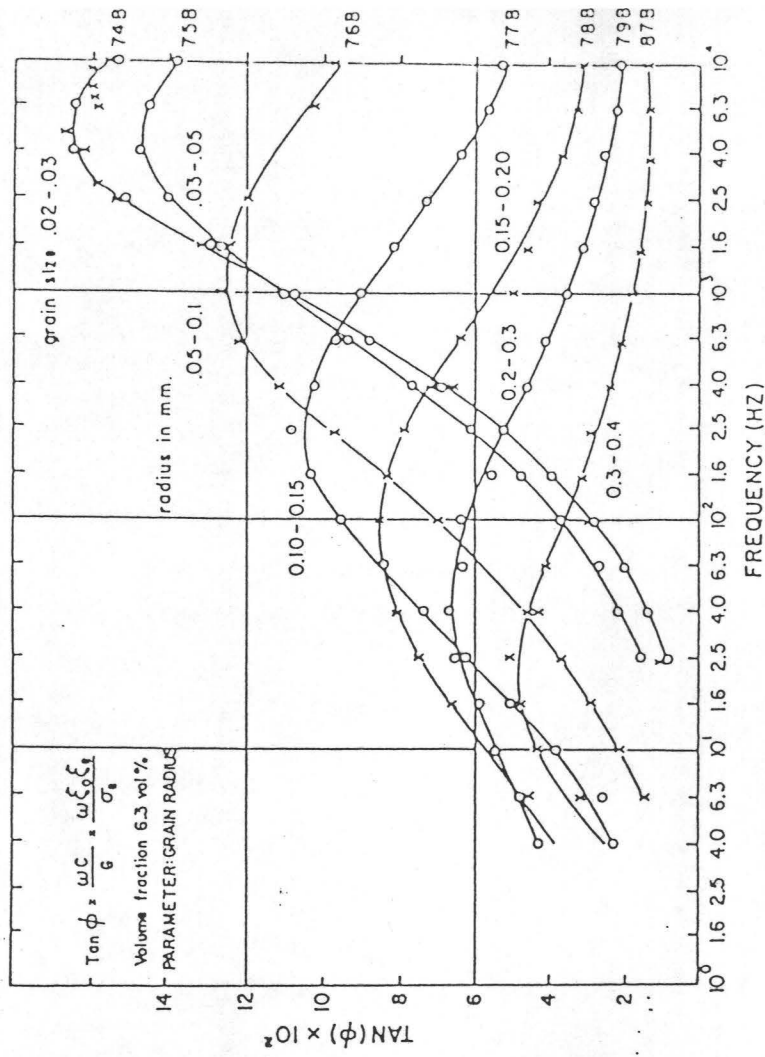
definiert, und wird als prozentuelle induzierte Polarisierung bezeichnet. In der englischen Literatur wird m häufig auch Chargeabilität genannt. In diesem Zusammenhang sei auf die hier unterschiedliche Definition der Meßgröße "Chargeabilität" im Vergleich zur Beziehung (1) verwiesen. Aus Abbildung A7 kann somit geschlossen werden, daß die Relaxationszeit τ bei Messungen im Frequenzbereich etwa 4 mal so groß wie bei Zeitbereichsmessungen sein darf, um den gleichen Fehler zu verursachen.

Als Beispiel einer Interpretation von gemessenen Amplituden- und Phasengängen des scheinbaren elektrischen Bodenwiderstandes sei auf Beobachtungen von GRISSEMAN (1971) und WONG (1977) hingewiesen, die zeigen, daß das Maximum des Phasenganges bei umso höheren Frequenzen liegt, je kleiner die Korngröße ist. Abbildung A8 zeigt

THEORETICAL RESULTS FOR VARIATION IN
GRAIN SIZE OF POLARIZABLE PARTICLE



from Wong (1977)



from Wong (1977)
data by Grisseman (1971)

links eine, aufgrund von theoretischen Überlegungen gewonnene Kurvenschar und rechts Meßkurven. Zusammenfassend kann man sagen: Da Frequenzbereichsmessungen heute mit modernen Apparaturen relativ rasch und bequem durchzuführen sind, erscheint diese Methodik von größerem Vorteil zu sein. Die mehrparametrische Form des Cole - Cole - Modells gestattet es außerdem, differenzierte Aussagen über den zu untersuchenden Gesteinskörper zu machen. Die Ermittlung der Parameter in Gleichung (4) kann mittels einer Regressionsvorschrift aus dem bei mehreren Frequenzen gemessenen scheinbaren elektrischen Widerstand $Z(\omega)$ vorgenommen werden.

B. Technische Spezifikationen der verwendeten Meßgeräte

Tabelle B1

Sender - IPT-1, AC 3003:

Input Requirements	3 phase 350 – 600 Hz; 50 V to 80 V from MG-1, MG-2 or MG-3 motor generators. Regulation via IPT-1 console and alternator field.
Output Voltages	44 V, 87 V, 175 V, 350 V, 700 V Max.
Output Current	with external loading resistor 10 mA to 10 A.
Load Resistance Range	6 - 30 Ω 14 - 70 Ω 25 - 125 Ω 50 - 250 Ω 100 - 500 Ω 200 - 70 K Ω
Maximum Continuous Output	3 KVA, derated to 2 KVA & 3 kHz.
Output Waveform	Max. rate of voltage change ist 150 V per micro Sec. The overshoot is 40% max. and is 10% at max. loading. Power supply ripple of 2400 Hz is 4,6% max. of peak voltage exluding the overshoot.
Frequency Control	Via the IPT-1 of RT-1 Console timing circuits or via external control over a range of $6,1 \times 10^{-5}$ to 4096 KHz.
Protection	For overloading or open wires via the IPT-1 or RT-1 consoles with warning light indicators, end for commutation shorting and unloaded overvoltage by internal protection, which sounds a buzzer when activated.

Tabelle B2

Empfänger - IPV-3

INPUT

Channels	Seven channels allow seven inputs to be measured simultaneously. These differential inputs may be from voltage electrode dipoles or magnetic coils. In addition, one channel is equipped to accept a modulated RF signal to perform as an isolated link receiver.
----------	---

Impedance	1000 Mega Ω .
Protection	The inputs are protected from excessive voltages by fuse resistors.
Sensitivity Ranges	31,6 microV to 3,16 V full scale in eleven 10 db steps for channels 1 – 6. Channel 0: 300 uV to 1 V in eight 10 db steps.
SP Cancellation	Channels 1 – 6: Cancellation is manual in 6 ranges ± 10 mV, ± 100 mV and ± 1 volt. Channel 0 has a manual input offset adjustment of approximately ± 50 mV.
Common Mode Max. Voltage	Common mode voltage must be less than ± 3 V (peak).
Common Mode Rejection	From DC to 60 Hz approximately 100 db CMR which deteriorates with imbalanced input impedances particularly at higher frequencies.
Frequencies	Two sets of 31 binary related frequencies are selected by the software. 1st set: 1×2^F where $-14 \leq F \leq 16$ 2nd set: 1×0.7142^F where $-14 \leq F \leq 16$ (Total range .0000436 hz to 65.54 kHz)
SIGNAL PROCESSING	
Analog Filtering	2 Pole Chebychev high and low cut filters selected by software control: High cut filter 3 db: ,25 Hz, 16 Hz, 1024 Hz, Wideband Low cut filter 3 db: 32600 Hz, 1024 Hz, 10 Hz, DC coupler
Digital Filtering	The signal is filtered by coherent digital filtering resulting in in-phase and quadrature outputs.
Sampling	The in-phase and quadrature outputs are sampled at a basic rate of 1 Hz. If the second set of frequencies is selected, the basic rate is 0,714 Hz. For induced Polarization and other applied source applications: $F < -$ Samples are partial cycles. $F \geq -2$ – Samples are averages of 2^F cycles. For Mt, AMT, Afmag applications: $F < 0$ – Samples are partial cycles.

$0 < F \leq 3$ – Samples are averages of 2^F cycles.

$F > 3$ – Samples are averages of 8 cycles.

A-D Conversation

13 bit binary (12 bits plus the sign) operating at 16 samples per second.

Input/Output

A 25 conductor cable connects the receiver to the companion processor. Output information is transmitted in three bytes of information every 1/16 second. Control information from the processor is received in two bytes. Power is also provided by the processor.

Transmitter Drive

An isolated timing drive output is provided for purposes of driving a remote transmitter. The output is capable of driving a twisted pair cable of approximately 600 m (depending on cable characteristics).

Current Monitor Receiver

Channel "0" is equipped to receive via an isolated link, and demodulate a RF modulated signal for the purpose of monitoring the transmitter current. The remote sensor and modulator are available as an accessory:

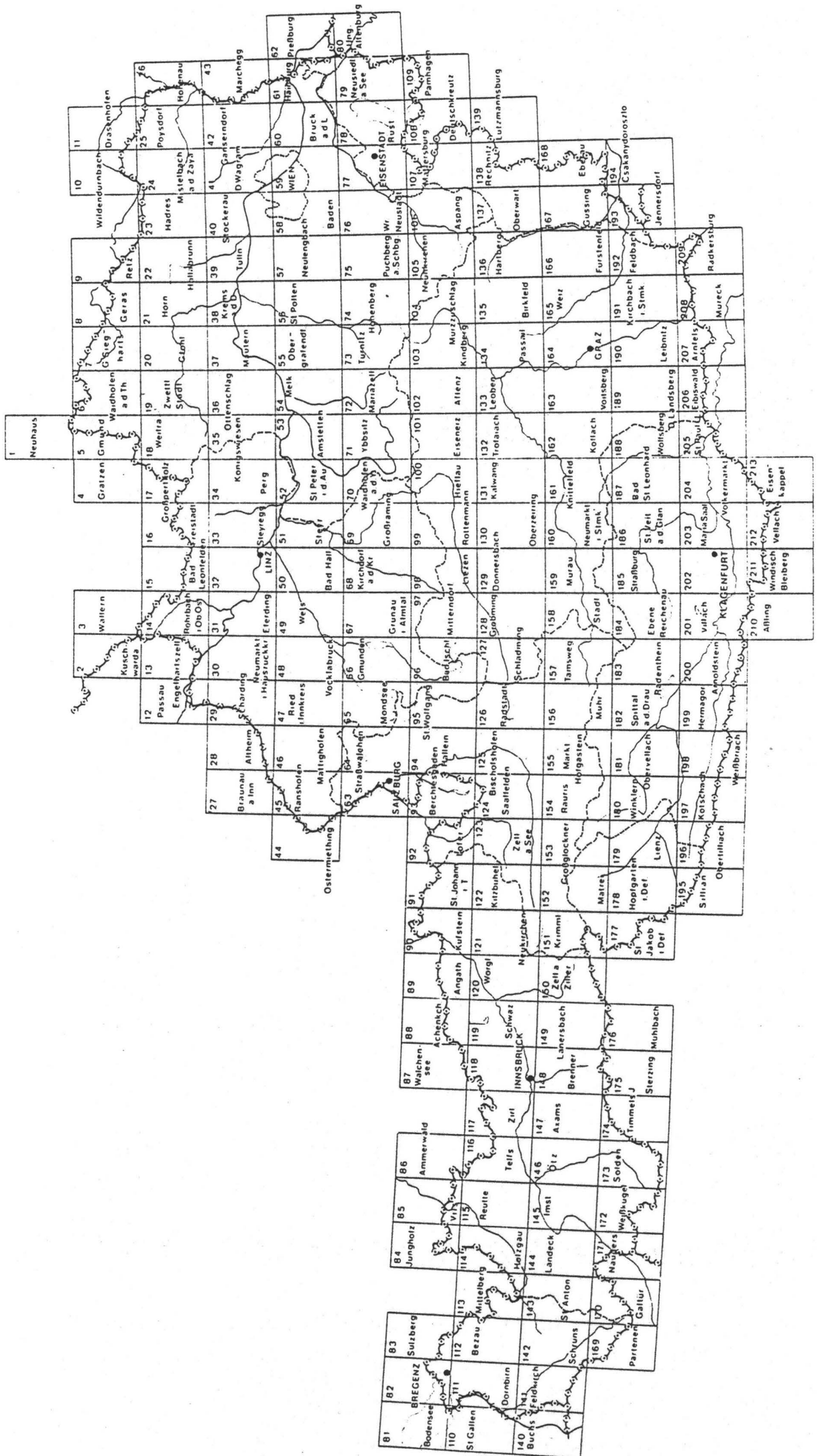
Current Monitor model CM-1.

Signal Monitoring

Seven analog meters allow each channel to be monitored either in a DC mode for low frequencies or an AC mode for high frequencies. These meters allow for easy adjustment of SP and gain.

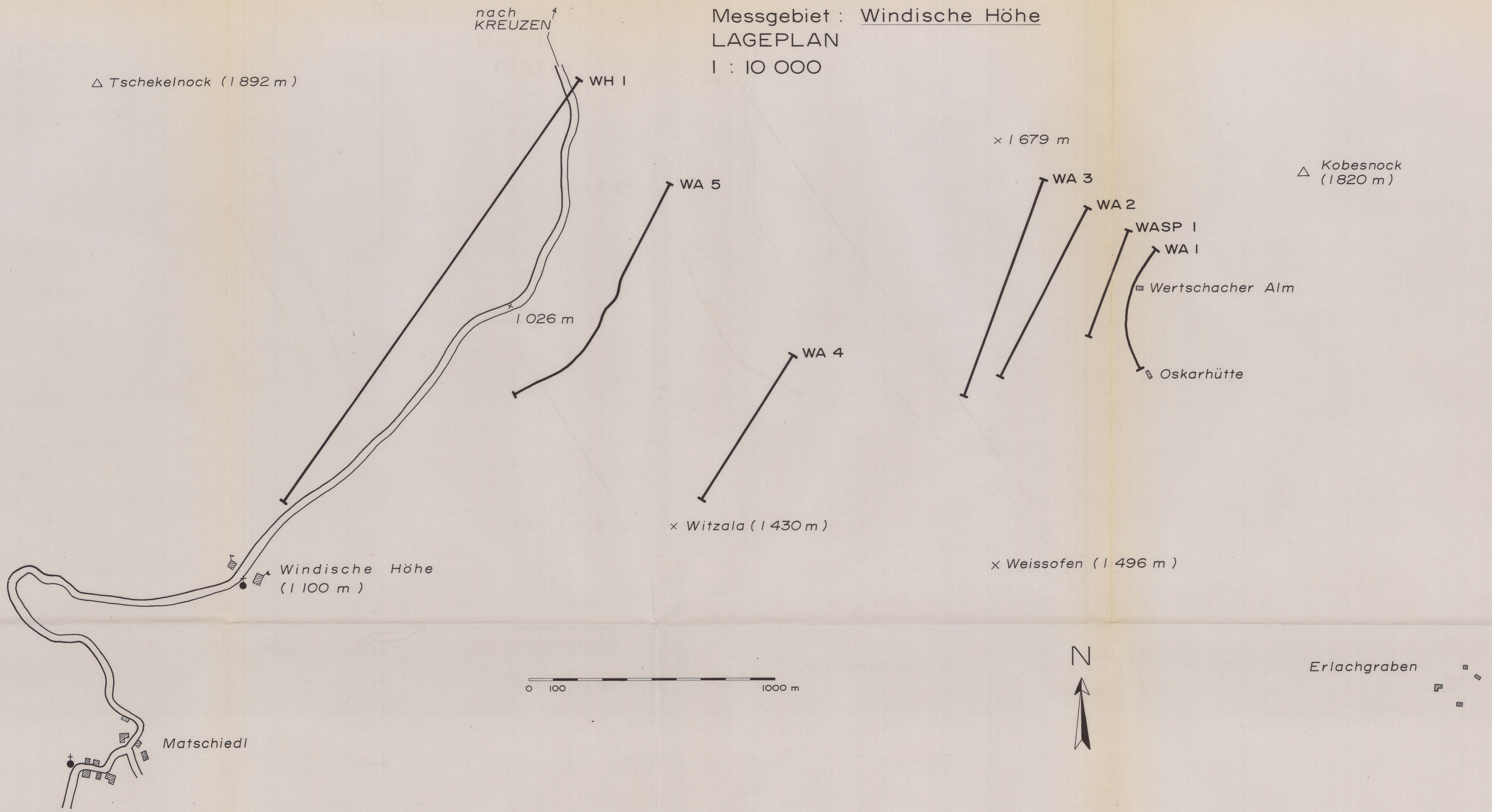
Overload Detection

Overload conditions in the analog amplifier and filter section are indicated by front panel lights. These conditions as well as A-D overloads are sensed by the processor.



Map of the Alpine region in Austria, showing a grid of numbered squares (81-213) and various geographical features like rivers, lakes, and towns.

Messgebiet : Windische Höhe
LAGEPLAN
1 : 10 000



BEILAGE 2

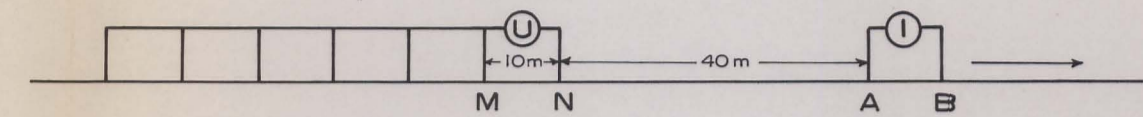
Messgebiet: Windische Höhe (Wertschacher Alm)

Messverfahren: Spektral-IP (Dipol-Dipol)

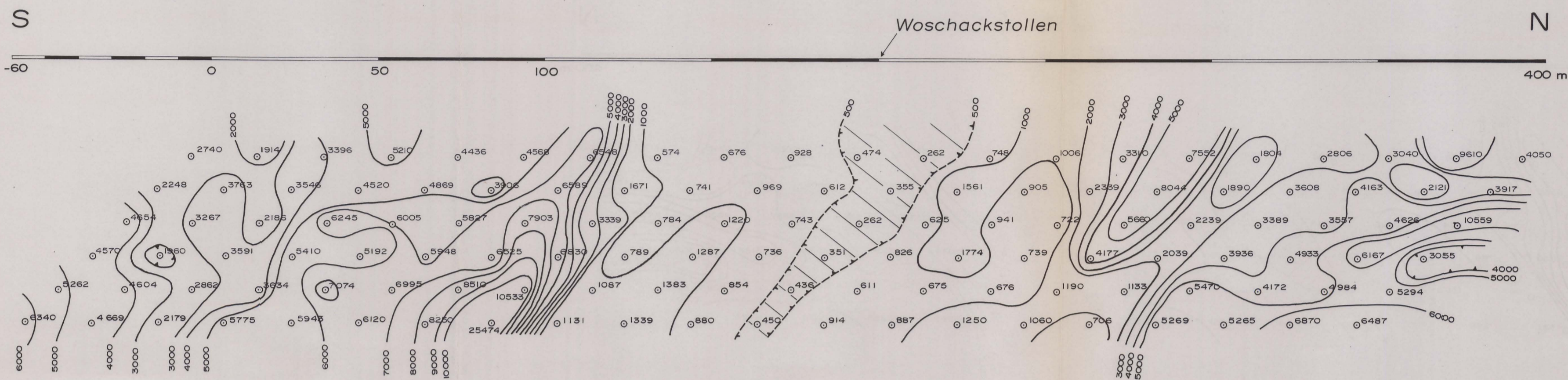
Profil: WASP I

Messpunktabstand: 20 m

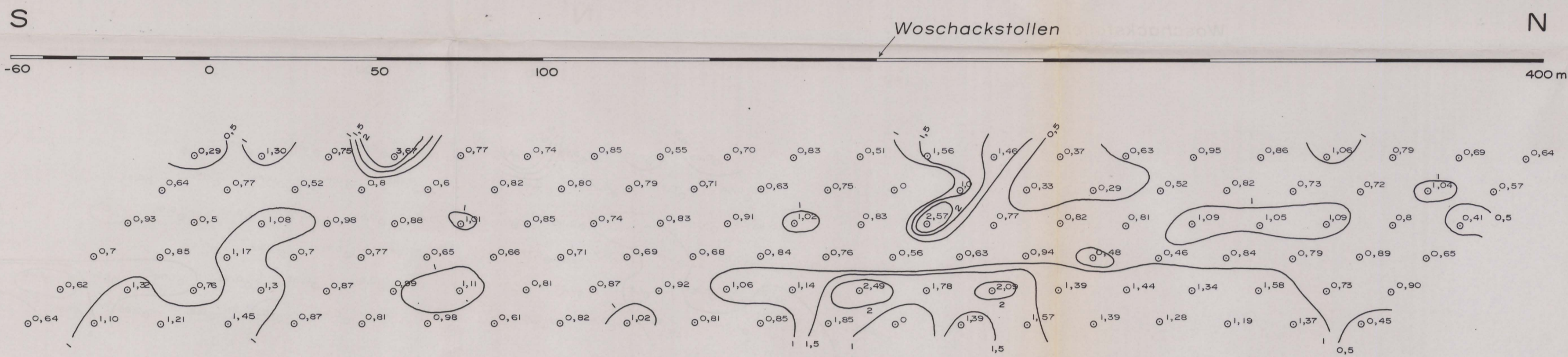
Messanordnung:



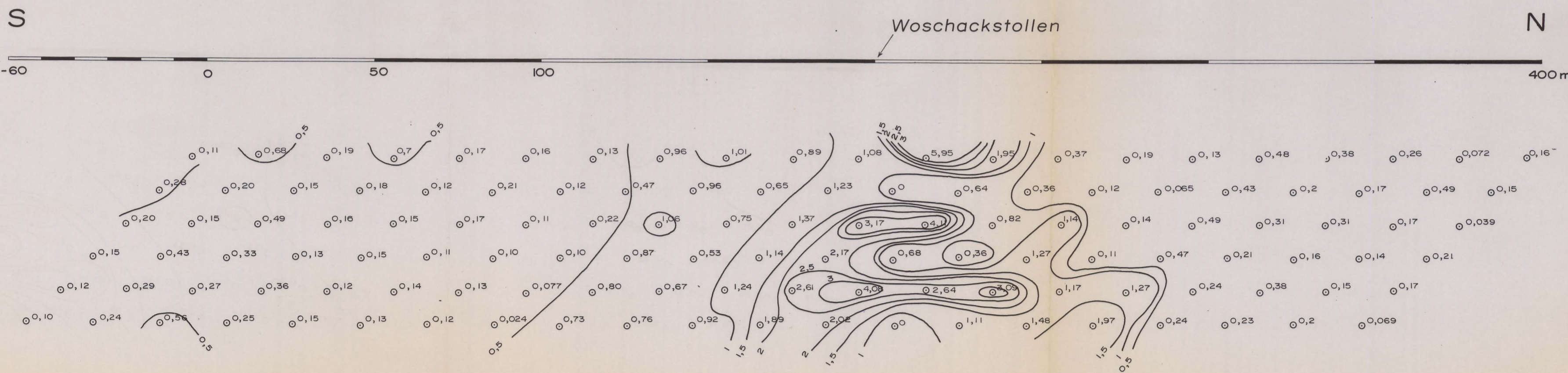
scheinbarer spezifischer Widerstand (Ωm)



PFE = prozentueller Frequenzeffekt (%)



MF = Metallfaktor (mS)



BEILAGE 3

Messgebiet : Windische Höhe (Wertschacher Alm)
Simulierung der Geländeeinwirkung auf die
Widerstandswerte φ_A nach der Methode
der finiten Elemente.

