

U.Seidel

Feldmessungen mit einer mikrocomputer gesteuerten Apparatur zur Messung der Induzierten Polarisation

Die IP-Messung im Frequenzbereich bietet den Vorteil, unmittelbar den komplexen scheinbaren Widerstand des Untergrundes zu bestimmen. Die am Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin entwickelte, mikrocomputergesteuerte Apparatur benutzt hierzu elf monofrequente Schwingungen mit Frequenzen von 0.1 bis 1. Hz.

Für die Feldmessungen wurde die Schlumberger-Anordnung benutzt, da sie es zuläßt, vorhandene Software zur Interpretation zu benutzen (KOEFOED, 1979). In der Auswertung werden den Schichten neben ihrem spezifischen Widerstand ein Frequenzeffekt, ein Metallfaktor und ein Phasenwinkel zugeordnet.

Diese Parameter wurden in einer Anzahl von Geländemessungen für verschiedene geologische Einheiten untersucht. Der lineare Zusammenhang zwischen Phasenwinkel und Frequenzeffekt, den BERTIN und LOEB (1976) aus ihren Laborergebnissen postulierten, bestätigte sich.

Nach einigen Testmessungen in Berlin wurden die Messungen im Oberpfälzer Wald und im Fichtelgebirge unter dem Aspekt durchgeführt, die Möglichkeiten der IP im Bezug auf die verschiedensten Gesteine erkennen zu lassen.

Geologisch ist dieses Gebiet im Süden von der moldanubischen Region und im Norden von den Graniten des Fichtelgebirges begrenzt (Abbildung 1). Die orogenen Vorgänge, die zur Entstehung der hier typischen Gesteine beigetragen haben, sind z.T. der assyrischen Phase (570. Mill. Jahre) zuzuordnen (Arzberger Serie). Die tektonische und metamorphe Prägung des Altpaläozoikums fand während der variscischen Orogenese statt (vgl. STETTNER, 1980).

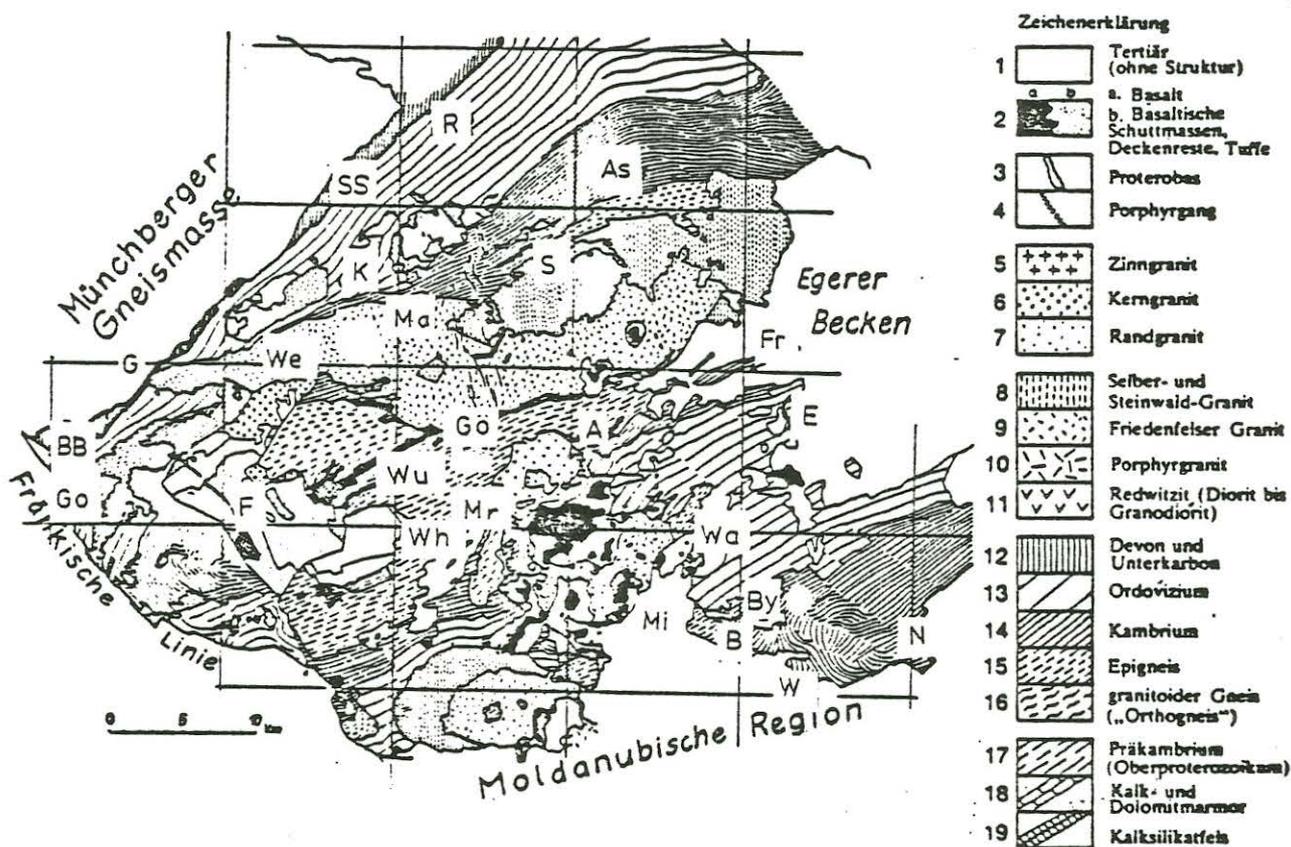


Abbildung 1 Geologische Übersicht des Fichtelgebirges mit Steinwald und dem Waldsassener Schiefergebirge (STETTNER, 1980)

Orte:

- A: Arzberg
- As: Asch
- BB: Bad Berneck
- E: Eger
- F: Fichtelgebirge
- Fr: Franzensbad
- G: Gefrees
- Go: Goldkronach
- K: Kirchenlamitz
- Ma: Markt-leuthen
- Mr: Marktredwitz
- Mi: Mitterteich
- R: Rehau
- SS: Schwarzenbach/Saale
- S: Selb
- Wa: Waldsassen
- We: Weißenstadt
- Wu: Wunsiedel

Messpunkte:

- By: Bayerland
- B: Birkenstaude
- Gö: Göpfersgrün
- N: Nikolauskapelle
- W: Wondreb
- Wh: Waldershof

Großtektonisch gesehen hat hier die Kollision der afrikanischen- mit der eurasischen Platte stattgefunden. In diesem Zusammenhang wird eine vorhergehende Schließung eines Ozeans, bei der ozeanische Kruste subduziert wurde, diskutiert (STEIN, pers. Mitt.). Im Norden ist das Gebiet durch das Aufdringen der Fichtelgebirgsgranite zusätzlich kontaktmetamorph beeinflusst.

Diese bewegte Vergangenheit des Gebietes führt zu dem Vorkommen überwiegend polyphas deformierter, unterschiedlich metamorpher Gesteine und den damit verbundenen, typischen Lagerstätten (Pyrit, Graphit, u.s.w.).

Die Messung Birkenstaude wurde etwa 1 km östlich der Ortschaft Großensees im Landkreis Tirschenreuth durchgeführt. Die Lokation hatte sich bei Eigenpotentialmessungen durch eine starke Anomalie, in deren Maximum Gradienten bis zu 300 mV/100 m auftraten, ausgezeichnet.

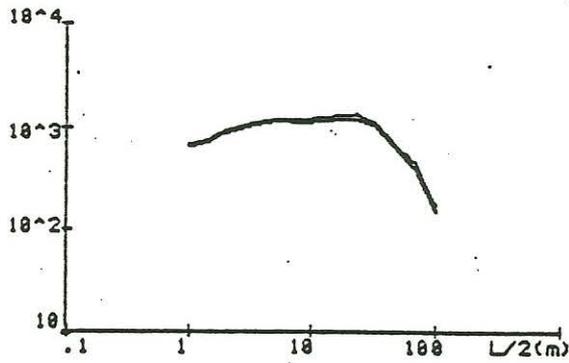
Sie liegt im Bereich einer Störung, an der präkambrische Sedimente im Südwesten gegen kambrische im Nordosten versetzt sind, auf der nordwestlichen Flanke einer großräumigen Faltenstruktur. Das Präkambrium wird überwiegend von Glimmerschiefern aufgebaut (Abbildung 1).

Die Auslagen $L/2$ hatten an diesem Messpunkt eine Richtung von 340 Grad und wurden bis zu 100 m mit sechs Punkten pro Dekade vermessen.

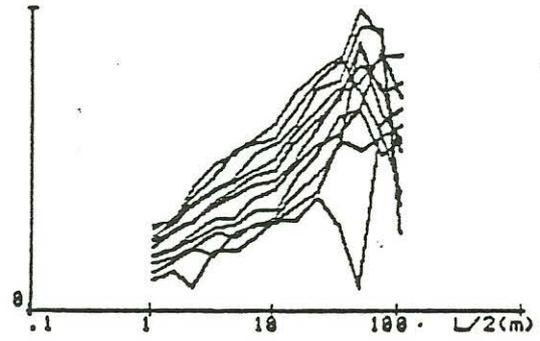
Die Ergebnisse der Messung sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Rhos-Kurve liegt bereits am Anfang bei relativ hohen scheinbaren spezifischen Widerständen. Bei einem $L/2$ von 10 m prägt sich ein flaches Zwischenminimum aus, das bei 30 m von einem deutlichen Maximum und einem anschließenden steilen Abfallen gefolgt wird.

Scheinbarer Widerstand R_{s1}, R_{s11} :
 R_s (Ohm \times m)

PHASE $\Phi_{11}, \dots, \Phi_{12}$:

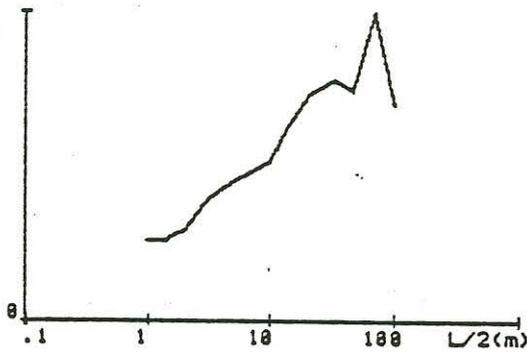


$\Phi = 67$ mrad



Frequenzeffekt $(R_{s1} - R_{s11}) / R_{s11} \times 100\%$: Metallfaktor $2 \times \Phi_{11} \times (R_{s1} - R_{s11}) / R_{s11}^2$:

PFE=17%



$\gamma F = 531$ 1/(Ohm \times m)

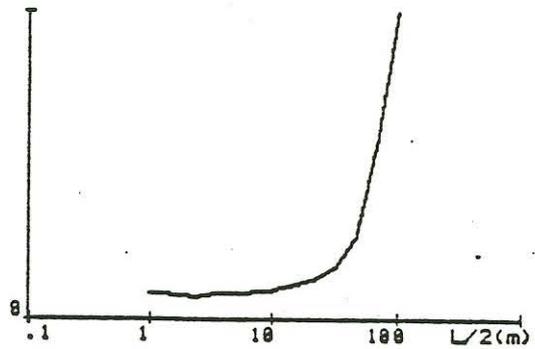


Abbildung 2 Messergebnisse Birkenstaude

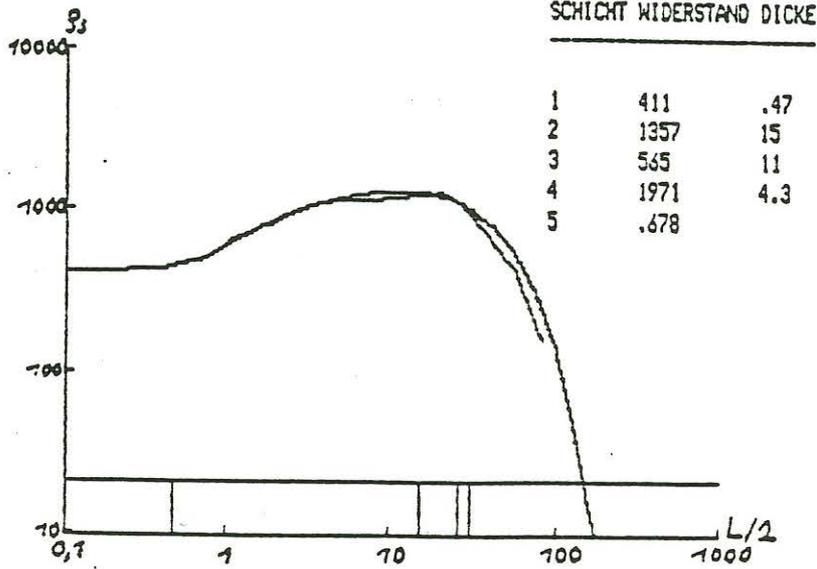


Abbildung 3 Modellrechnung Birkenstaude

Die Werte des Frequenzeffektes steigen zunächst an, erreichen bei einem $L/2$ von 3 m ein relatives Maximum und bei 68 m ihren Maximalwert. Das Verhalten der Phasenkurve unterstreicht diesen Verlauf.

Abbildung 3 zeigt das mit den Koefoed-Algorithmen erstellte Modell der Verteilung der spezifischen Widerstände in der Tiefe.

Die oberste, circa einen halben Meter mächtige Schicht hat einen spezifischen Widerstand von 411 Ohm*m. Sie wird als Verwitterungsschicht der quarzitisches-phyllitischen Gesteine gedeutet und zeigt einen geringen Polarisierungseffekt. Es folgt eine hochohmige Schicht (1357 Ohm*m) von 15 m Mächtigkeit, entsprechend einem gering verwitterten quarzitisches Material, daß von einer 11 m dicken, durch ihre größere Permeabilität leitfähigeren glimmerschieferigen Schicht unterlagert wird (565 Ohm*m), die sich als nur gering polarisierbar darstellt.

Die folgende, hochohmige Schicht (1971 Ohm*m, 4.3 m) erreicht relativ hohe Werte für den Frequenzeffekt (15%). Da diese Schicht von ihrem spezifischen Widerstand her, sowie aufgrund der geologischen Verhältnisse einem massiven, phyllitischen Gestein entsprechen sollte, steht der hohe Frequenzeffekt im scheinbaren Widerspruch dazu. Eine Erklärungsmöglichkeit bietet sich, wenn man eine an kleine Klüfte gebundene, sekundäre Vererzung annimmt.

Die gut leitende Schicht, die das Modell nach unten hin abschließt, zeigt einen Frequenzeffekt von bis zu 17%. Der gleichzeitig sehr geringe spezifische Widerstand von unter einem Ohm*m und der starke Anstieg des Metallfaktors bei gleichzeitigem Fallen der Phasenwerte muß man als Eindringen in die Randzone einer Vererzung deuten, die an die Störungszone gebunden ist und das hohe Eigenpotential erklärt.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Messungen und deren Interpretationsergebnisse. Auffällig ist, daß die Schichten, die als Sande, Tone und Waldboden angesprochen wurden ein breites Spektrum von Widerstands- Frequenzeffekt- Metallfaktor- und Phasenwerten überstreichen.

Dieses Verhalten ist wenig erstaunlich, wenn man sich verdeutlicht, daß es sich hier um sehr oberflächennahe Schichten handelt, die sehr verschiedene Zusammensetzungen, Porenvolumen und Grade der Verwitterung aufweisen und in ihrem Wassergehalt große Unterschiede aufweisen können. Da der Anteil der Mineralisation und des Porenwassers maßgeblich für die Polarisierbarkeit und den Widerstand einer Schicht sind, entsteht eine breite Fächerung der Werte. Dennoch sind Frequenzeffekte über 10% in diesen Schichten selten. Die Metallfaktoren liegen zwischen 5 und 20 Siemens und die Phase überstreicht den Bereich von 5 bis 20 Milliradian.

Eine zweite, auffällige Gruppierung besteht aus Materialien, die einen relativ geringen spezifischen Widerstand aufweisen, dabei einen erhöhten Metallfaktor um einige hundert Siemens und eine Phase von um 20 Milliradian haben. Ihre Frequenzeffekte liegen bei 10% .

Die Gesteinsansprache dieser Gruppe weist sie als mineralreiche, oft wasser- und/oder erzführende, tonige/sandige Schichten aus.

Die dritte und die vierte Gruppe sind weniger auffällig. Sie enthalten Materialien mittlerer bis schlechter Leitfähigkeit, die einen Polarisierungseffekt von 6-13% haben und sich lediglich in ihren Widerständen unterscheiden. Hier handelt es sich um stark verwitterte, durchwässerte Gesteine in der dritten, und um feste, gering verwitterte, schwach durchwässerte Gesteine in der vierten Gruppe.

In den Tabellen 2.1 bis 2.4 sind diese Gruppierungen aus Tabelle 1 aufgelistet. Die Identifizierung geschieht über die Gesteinsnummer in der ersten Spalte der Tabelle und über die Modell- und Schichtnummern in deren zweiten Spalte (8.2 bedeutet also Modell 8: Bayerland; Schicht 2).

Gruppe I stellt die verschiedenen Boden- und Gesteinstypen der oberen Verwitterungsschicht dar, die in ihrem Verhalten überwiegend vom Porenvolumen und dessen Füllung bestimmt ist.

Auffällig sind lediglich die hohen Widerstände der Gesteine 1 und 4. Sie wurden als stark verwitterte Glimmerschiefer und Sand angesprochen. Da sich beide Gesteine ansonsten nicht in diese Gruppe einordnen, ist anzunehmen, daß sie wasserarm sind.

Gruppe II faßt die Materialeigenschaften zusammen, die auf eine Vererzung hinweisen. Die spezifischen Widerstände sind relativ niedrig, der Frequenzeffekt ist deutlich, der Metallfaktor erreicht hier maximale Werte und die Phasen sind vergleichsweise hoch.

Auffällig verhält sich das Material in 12. Hier treten bei vernachlässigbar geringer Phase (4 mrad) und sehr geringem spezifischen Widerstand kein Frequenzeffekt und kein Metallfaktor auf, d.h. die Schicht ist nicht polarisierbar. Sie wurde als sedimentierte, dünne Lage angereicherten Eisenoxys interpretiert. Es ist anzunehmen, daß in dieser Lage der Frequenzeffekt durch die Wirkung des Induktionseffektes (WYNN, 1974) kompensiert wird.

Gruppe III beherbergt Materialien mittlerer Leitfähigkeit und Polarisierbarkeit, die einen erhöhten Metallfaktor aufweisen. In ihr befinden sich Verwitterungsprodukte tieferer Bodenlagen, die vom Porenwasser geprägte Eigenschaften aufweisen, in denen jedoch im Gegensatz zur Gruppe I die mineralen Bestandteile nicht in so starkem Maße ausgewaschen sind.

Gruppe I: Elemente der obersten Verwitterungsschichten, meist Wasser-führend; Geringer IP-Effekt;

Nr. Gestein	Rhoa	PFE	HF	Phi	Ansprache
1	8.3	1450	1.3	83	4 stark verwitterter Glimmersch.
2	4.1	170	2.0	76	7 Humus, feucht
3	5.1	170	3.0	106	11 Hangschutt, Sande, feucht
4	7.2	1168	3.0	27	13 Sand
5	8.1	322	3.3	35	11 Sand, Geröll, feucht
6	2.1	200	3.5	135	11 gefronener Ackerboden
7	7.1	212	4.0	36	13 Haldboden
8	6.1	600	4.0	44	13 Haldboden
9	4.2	500	4.0	92	7 stark verwitterte Gneise
10	3.1	411	4.3	48	12 quarz. phyllitische Verwitt. Sch.
11	7.3	504	5.0	46	17 Kaolin

Gruppe II: Leitende Horizonte meist hohen IP-Effektes und Metallfaktor

Nr. Gestein	Rhoa	PFE	HF	Phi	Ansprache
12	8.2	1.0	0.0	0	4 sedimentierte, dünne Eisenschicht
13	5.2	50.0	3.5	245	11 stark verw. graphitischer Harmor
14	2.2	10.0	9.5	924	8 tonig-sandig, wasserreiche Lage
15	2.4	47.0	10.0	430	35 tonig-sandig, wasserreiche Lage
16	8.4	2.4	10.0	373	13 Magnetkies
17	3.5	7	17.0	531	67 Eisen-Vererzung

Gruppe III: Materialien ausserer Leitfähigkeit, mittlerer Polarisierbarkeit und erhöhten Metallfaktors;

Nr. Gestein	Rhoa	PFE	HF	Phi	Ansprache
18	4.3	139	5.0	280	8 verwitterte Gneise
19	5.3	116	8.0	505	18 verwitterter graphitischer Harmor
20	6.5	260	9.0	149	34 tonig-sandige, wasserreiche Lage
21	6.3	200	12.0	241	40 eisenhaltiges Geröll, Mäser

Gruppe IV: Gesteine geringer Leitfähigkeit

Nr. Gestein	Rhoa	PFE	HF	Phi	Ansprache
22	8.5	8082	1.6	41	31 Quarzit
23	6.2	806	6.2	236	40 Sand
24	3.2	1357	7.1	40	24 stark verwitterter Quarzit
25	3.3	565	9.2	58	30 stark verwitterter Glimmersch.
26	6.2	700	9.5	66	19 Sand
27	4.4	900	13.0	175	43 Sand
28	3.4	1971	13.0	87	37 stark verw. phyllitisches Gestein

Tabelle 2.1 bis 2.4 Aufteilung der Gesteine in bestimmte Gruppen

Messung	Schicht	Rho	PFE	HF	Phi	Gestein
1. Lanwitz	1	98	7.2	434	25	Humus, feucht
	2	170	9.5	652	31	Sand, gut durchweicht
	3	4	40.0	11947	172	Betonfundament
	4	9999	29.0	4127	25	Sand, trocken
2. Gatow	1	200	3.5	135	11	gefronener Ackerboden
	2	16	9.5	926	0	Ton, mineralisiert
	3	806	6.2	236	40	Sand, wasserarm
	4	47	10.0	430	35	Tone/Sande, Mäser
3. Birkenstaude	1	411	4.3	48	12	quarz-phyll. Verwitt.
	2	1357	7.1	40	24	Quarzit, geklüftet
	3	565	9.2	58	30	Glimmerschiefer, verw.
	4	1971	13.0	87	37	Phyllit, geklüftet
	5	7	17.0	531	67	Fe - Vererzung
4. Nik-Hord	1	170	2.0	76	7	Humus, feucht
	2	500	4.0	92	7	Gneise, stark verwitt.
	3	139	5.0	280	9	Gneise, verw., Mäser
5. Göpfersgrän	1	170	3.0	106	11	Hangschutt, feucht
	2	50	3.5	245	11	graph. Harmor, verw.
	3	116	8.0	505	18	graph. Harmor
6. Hondreb	1	600	4.0	44	13	Haldboden, feucht
	2	700	9.5	66	19	Sand, feucht
	3	200	12.0	241	40	eisenhaltiges Geröll
	4	900	13.0	175	43	Sand
	5	260	9.0	149	34	Grundwasserleiter
7. Halderhof	1	212	4.0	36	13	Haldboden, feucht
	2	1168	3.0	27	13	Sand, wasserarm
	3	504	5.0	40	17	Kaolin
	4	36500	12.0	69	33	Randeffekt
	5	1660	21.0	77	30	Randeffekt
8. Bayerland	1	322	3.3	35	11	Sand, Geröll, mineral.
	2	1	0.0	0	4	Fe O, wasserf. Sch.
	3	1450	1.3	80	6	Glimmerschiefer
	4	2.4	10.0	373	13	Magnetkies
	5	8082	1.6	41	31	Quarzbank

Tabelle 1 Erläuterungen s. Text

In Gruppe IV ist zusammengefasst, was sich einer Einordnung in die ersten drei Gruppen entzog. Auffällig ist die häufige Nennung des Sandes, was jedoch erklärlich ist, da Sand ein Sammelbegriff für eine Vielzahl von Sedimenten ist, unter dem sehr unterschiedliche physikalische Eigenschaften vertreten sind.

BERTIN und LOEB (1976) beschreiben einen linearen Zusammenhang zwischen dem prozentualen Frequenzeffekt (PFE) und der Phase (Φ) bei Labormessungen zur induzierten Polarisation im Frequenzbereich.

Abbildung 4 zeigt eine entsprechende Darstellung, die aus den im Gelände gewonnenen Untersuchungsdaten erstellt wurde. Die Nummerierung der Punkte entspricht der in den Tabellen 2.1 bis 2.4 eingeführten. Die römischen Zahlen bezeichnen den Mittelwert der jeweiligen Gruppe. Die eingetragene Gerade der linearen Regression ergab einen Korrelationskoeffizienten von 0.75.

In Abbildung 5 wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen dem spezifischen Widerstand einer Schicht und dem bei der Messung aufgetretenen Phasenwinkel zu finden. Dabei zeigte es sich, daß die Elemente der einzelnen Gruppen in bestimmten Bereichen gehäuft voneinander getrennt auftreten. Die eingezeichneten Begrenzungen deuten an, daß das Auftreten von Polarisationseffekten an geringe bis mittlere spezifische Widerstände gebunden ist und mit der Zunahme des Widerstandes das Auftreten großer Phasenwinkel unwahrscheinlicher wird.

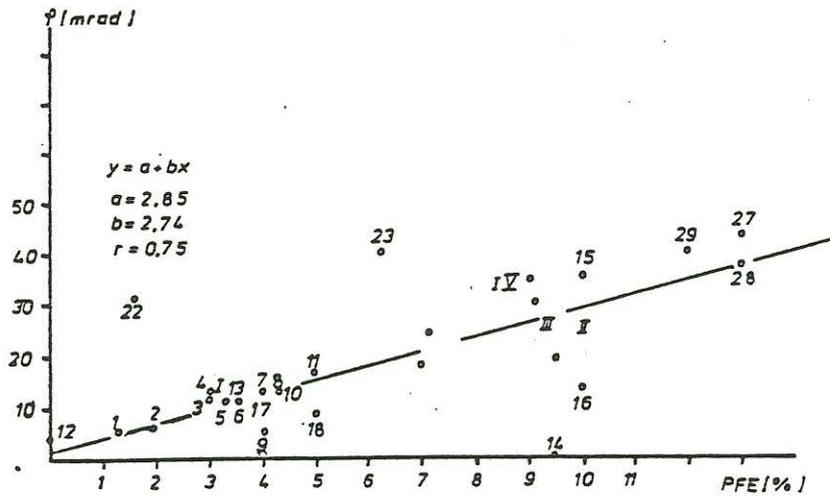


Abbildung 4 Linearer Zusammenhang zwischen Frequenzeffekt und Phase (vgl. BERTIN et al.1976; RADIC, 1984).

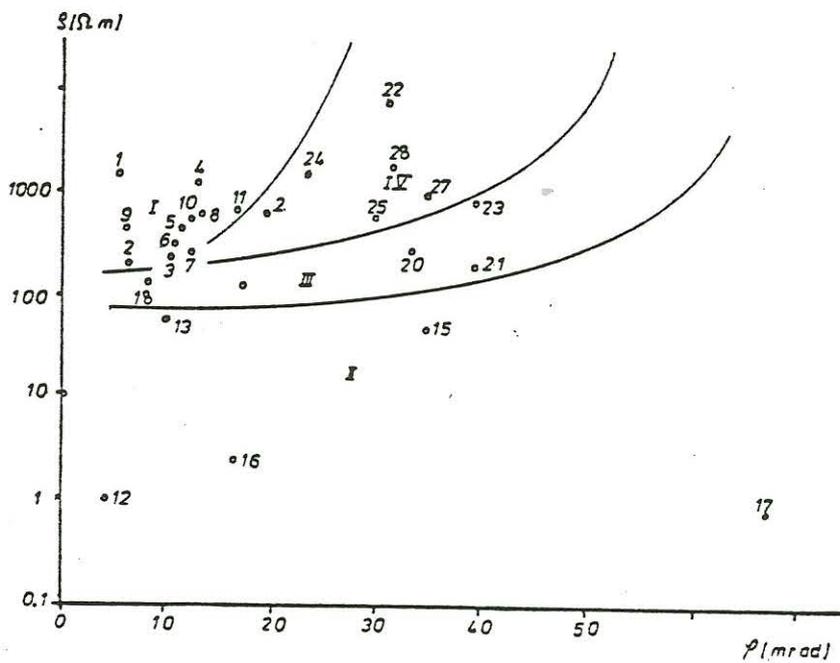


Abbildung 5 Zusammenhang zwischen der Phasenverschiebung (Polarisierbarkeit) und dem spezifischen Widerstand

Literatur

- Bertin, P., J. Loeb "Experimental and Theoretical Aspects of Induced Polarisation"; Vol. 1+2; Geoexploration Monographs, Ser.1, No.7; Gebr. Bornträger, 1976
- Haunschild, H. und H. Jertz "Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern"; Bayer. Geol. Landesamt, München 1981
- Koefoed, O. "Resistivity Sounding Measurements", Geosounding Principles I, Elsevier, 1979
- Radic, T. "Bau und Programmierung eines mikrocomputer gesteuerten, digitalen Messgerätes zur Bestimmung des komplexen Gesteinswiderstandes durch induzierte Polarisation und dessen Erprobung im Sandgefüllten Trog Diplomarbeit am Inst. für Geoph. Wiss. FU Berlin, 1984
- Seidel, U. "Entwicklung und Erprobung einer mikroprozessorgesteuerten Messapparatur zur Untersuchung der Induzierten Polarisation im Frequenzbereich sowie vergleichende Geländemessungen"; Diplomarbeit am Inst. für Geoph. Wiss. FU Berlin, 1984
- Stettner, G. "Zum geologischen Aufbau des Fichtelgebirges" Aufschluss, Bd. 31, 391-403, Heidelberg, 1980
- Wynn, J.C. "Electromagnetic Coupling in IP", Dissertation, University of Arizona, Tucson, 1974