

Einiges über den Einfluss meteorologischer Faktoren auf die Ergebnisse geoelektrischer Vermessungen

Autor(en): **Fritsch, Volker**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **17 (1937)**

Heft 2

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-16676>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Einiges über den Einfluss meteorologischer Faktoren auf die Ergebnisse geoelektrischer Vermessungen

Von *Volker Fritsch*, Brunn

Bei allen geoelektrischen Vermessungen handelt es sich darum, die elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter zu erfassen und aus diesen auf deren geologische Beschaffenheit Schlüsse zu ziehen. Da diese nun in hohem Grade von der Durchfeuchtung des Gesteines abhängig sind, so werden alle Faktoren, die die Durchfeuchtung verändern, auch das Messergebnis beeinflussen. Zu diesen gehören nun auch die meteorologischen Einflüsse. In der Arbeit wird nun deren Einwirkung näher untersucht. Zunächst werden die allgemeinen Voraussetzungen geprüft, dann wird der geologische Leiter in groben Umrissen beschrieben und schliesslich wird gezeigt, wie man meteorologische Einflüsse für bestimmte Messzwecke ausnützen oder aber kompensieren kann.

Inhalt:

- A. Allgemeines.
- B. Der geologische Leiter.
- C. Messverfahren.
- D. Die Berücksichtigung der meteorologischen Faktoren bei der Auswertung der Messergebnisse.

Die geoelektrischen Untersuchungsmethoden haben in den letzten Jahren stets an Bedeutung gewonnen. Der stetige Ausbau der in Betracht kommenden Verfahren brachte es aber auch mit sich, wenn man dem geologischen Leiter, der früher in der Elektrotechnik kaum besondere Beachtung fand, erhöhtes Augenmerk zuwandte. Damit aber musste man auch jenen Faktoren Beachtung schenken, die die elektrischen Eigenschaften des geologischen Leiters oft innerhalb sehr weiter Grenzen verändern können. Zu diesen zählen, wie noch gezeigt werden wird, auch die Einflüsse der Witterung. Es wird immer klarer, dass es unmöglich sei, richtige Ergebnisse zu erhalten, ohne den Einfluss meteorologischer Elemente genauestens in Rechnung zu stellen. Das Problem ist natürlich sehr kompliziert und in den folgenden Zeilen sollen nur einige Anhaltspunkte geboten werden. Eine schematische Darstellung ist schon deshalb unmöglich, weil es nötig ist, die in Betracht kommenden Faktoren fallweise besonders zu erfassen und dann in oft recht verschiedener Weise zu berücksichtigen.

A. ALLGEMEINES

Das Grundprinzip aller geoelektrischen Aufschliessungsverfahren ist ziemlich einfach: in das zu untersuchende Volumen wird ein elektrischer Strom oder ein elektromagnetisches Feld eingeleitet und dessen räumliche Verteilung bestimmt. Aus dem Verlaufe und der Dichte der bestimmten Strom- oder Feldlinien werden dann Schlüsse auf die elektrische und aus dieser auf die geologisch-mineralogische Zusammensetzung gezogen. Die ersten Verfahren arbeiten sowohl mit Gleichstrom als auch mit nieder- oder hochfrequentem Wechselstrom. Wir können sie unter dem Sammelnamen der Widerstandsverfahren zusammenfassen. Neben diesen existieren dann noch die „Ausbreitungsverfahren“, die die räumliche Verteilung eines Hertzischen Feldes zur Basis der Messung wählen. Neuerdings werden alle Verfahren, die mit hochfrequentem Wechselstrom oder mit hochfrequenten Hertzischen Feldern arbeiten, unter der Bezeichnung „Funkmutung“ zusammengefasst, wobei zu beachten ist, dass die Bezeichnung „Muten“ nicht in jenem Sinne verwendet wird, wie sie bergrechtlich umschrieben ist.

Die Basis jeder geoelektrischen Vermessung ist somit der geologische Leiter. Unter diesem verstehen wir jedes Mineralkorn, jede Mineralverbindung und jeden geologischen Körper, der von elektrischen Strom- oder Verschiebungslinien durchsetzt wird. Die Verteilung dieser Linien im Leiterquerschnitte ist einmal von den elektrischen Eigenschaften des Leiters selbst, dann aber auch von elektrischen Faktoren abhängig. Unter diesen sind besonders die Stromdichte und die Frequenz wichtig. Der geologische Leiter wird bei hohen Frequenzen andere Leitereigenschaften aufweisen als bei niedrigen. Daher ist es auch unzulässig, Ergebnisse, die bei verschiedenen Frequenzen erzielt wurden, einander ohne weiteres gleichzusetzen. Wollen wir daher den Einfluss meteorologischer Faktoren auf das Endergebnis einer geoelektrischen Messung untersuchen, so müssen wir prüfen, wie dieser Einfluss bei verschiedenartigen Leitern und unter verschiedenen elektrischen Voraussetzungen — also z. B. bei verschiedenen Frequenzen — zum Ausdruck kommt. Wir haben uns daher zunächst mit dem geologischen Leiter und dann mit den bei den verschiedenen Messverfahren gegebenen Voraussetzungen zu beschäftigen.

B. DER GEOLOGISCHE LEITER

Der bereits definierte geologische Leiter kann nun elektrisch oder mineralogisch beschrieben werden. Wir wollen gleich festhalten,

dass elektrisch verschiedenartige Leiter mineralogisch gleichartig sein können und dass andererseits auch ganz verschiedene Mineralien mitunter die gleichen elektrischen Eigenschaften aufweisen. Jede geoelektrische Messung ist somit zunächst vieldeutig. Erst der Zusammenarbeit des Physikers mit dem Geologen gelingt es, einigermaßen eindeutige Ergebnisse zu erzielen.

Durch jede geoelektrische Vermessung wird stets nur ein Integralwert über die elektrischen Eigenschaften des gesamten Aufschlussraumes bestimmt. Ein Beispiel zeigt Abb. 1. Eine Antenne

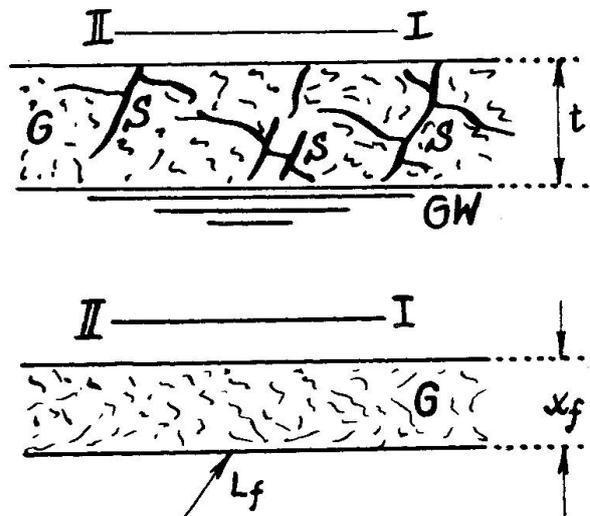


Abb. 1. Wirkliche Teufe „t“ und „fiktive Teufe“ x_f

I—II ist über trockenem und daher schlechtleitendem Gebirge G gespannt, das von gutleitenden Spalten S durchzogen ist. GW bedeutet den Grundwasserspiegel in der Teufe t. Wir bestimmen nun durch eine entsprechende Messung für die Antenne I—II eine bestimmte Kapazität „gegen Erde“. Den gleichen Kapazitätswert könnten wir aber erhalten, wenn wir das Gebirge G völlig homogen annehmen und in einer von t verschiedenen Teufe x einen unendlich guten Leiter L_f annehmen. Wir bezeichnen diesen dann als den fiktiven Leiter in der fiktiven Teufe x_f . Zu irgend einer durchgeführten Antennenkapazitätsmessung können wir stets nur einen solchen fiktiven Leiter errechnen. Aus weiteren Bestimmungsstücken muss man dann versuchen, diesen in seine tatsächlichen Komponenten zu zerlegen. Das gleiche ist bei Widerstandsmessungen der Fall. Auch hier kann man nur einen Durchschnittswert ermitteln, der sich dann auf den „äquivalenten Leiter“ oder das „äquivalente Mittel“ bezieht. Die zu untersuchenden meteorologischen Faktoren können nun die im Volumen enthaltenen Teilleiter ganz verschieden beeinflussen. Es ist

sogar durchaus möglich, dass sie sich in grösseren, aus verschiedenartigen Teilleitern zusammengesetzten Aufschlussräumen gegenseitig kompensieren. Geschieht dies, so kann die über den Gesamttraum erstreckte Messung solche Veränderungen überhaupt nicht mehr erfassen.

In elektrischer Hinsicht besteht der geologische Leiter aus sehr verschiedenartigen Elementen. In ein Gerüst, das aus Leitern erster Klasse und Elektrolyten besteht, sind dielektrische Bezirke eingefügt. Im geologischen Leiter werden also neben Leitungs- auch Verschie-

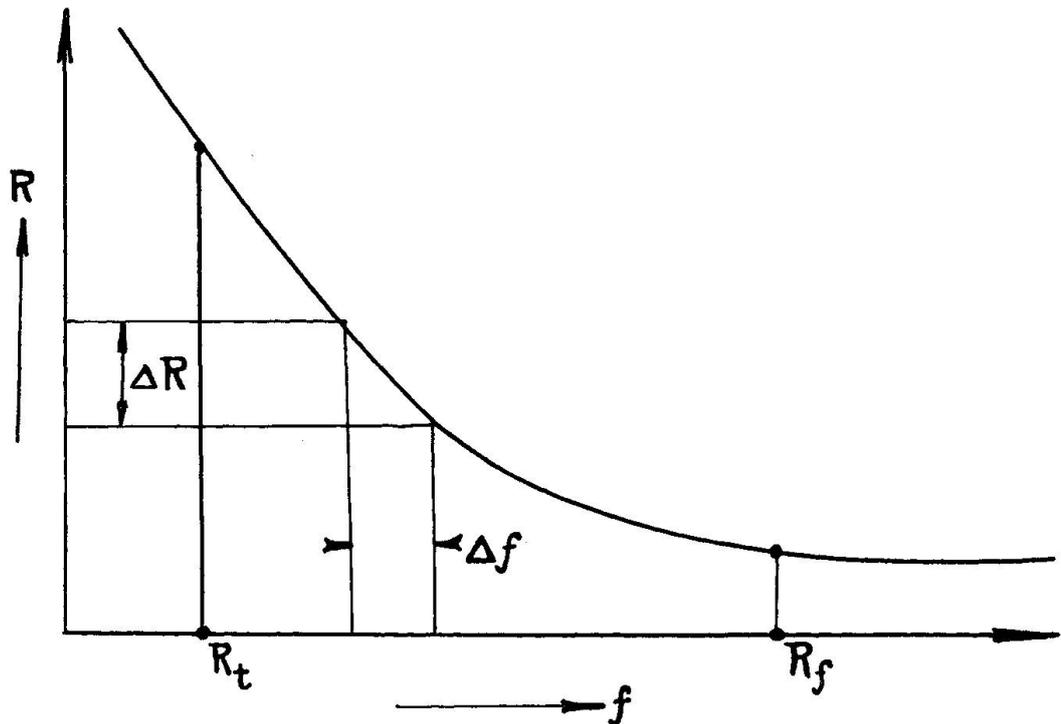


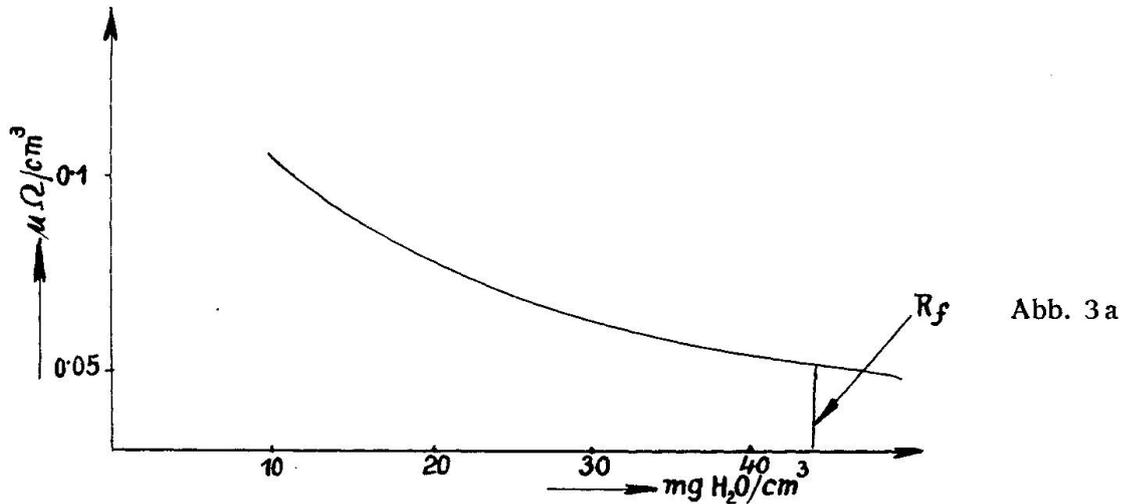
Abb. 2. Widerstandskurve eines geologischen Leiters

bungsströme fließen und er ist daher als ein komplexer Widerstand zu behandeln, dessen imaginäre Komponente vornehmlich kapazitiver Natur sein wird.

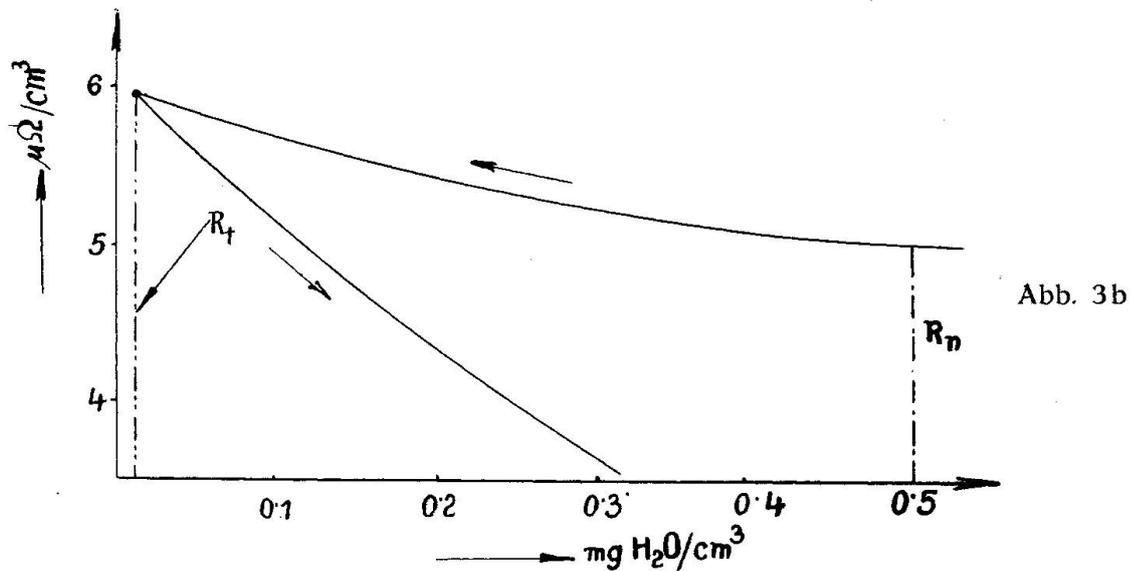
In stofflicher Hinsicht besteht der geologische Leiter aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. Die festen sind, wenn man von sehr wenigen Erzsorten absieht, sehr schlechte Leiter und liefern daher für die Leitungsstrombahn keinen besonderen Beitrag. Am wichtigsten sind in elektrischer Hinsicht die flüssigen Bestandteile, während die gasförmigen, auch wenn sie durch Strahlen und andere Ursachen jonisiert wurden, lediglich indirekt von Bedeutung sind.

Das Grundelement des geologischen Leiters ist das Mineralkorn. Auch dieses ist nicht immer völlig homogen. Es besteht oft aus einem

Kern und einem Überzuge von recht verschiedenen elektrischen Eigenschaften. Bei hohen Spannungen kann es nun vorkommen, dass die schlechtleitende Haut durchschlagen wird. Die besser leitenden Kerne treten dann in unmittelbare gegenseitige Berührung und der früher



Nº19 Sandsteineinlagerung im Bakulitenmergel



Nº41 Kalkiger Sandstein

Abb. 3. Widerstandskurven für geologische Leiter

vornehmlich durch die Eigenschaften der Haut bestimmte Gesamtwiderstand fällt auf jenen Wert, der durch die Kerne gegeben ist (Fritteffekt). Umgekehrt kann es auch vorkommen, dass schlechtleitende Mineralkerne in eine besser leitende Lösung eingebettet sind. Wird nun diese bei hohen Stromstärken (z. B. bei Blitzdurchströmung)

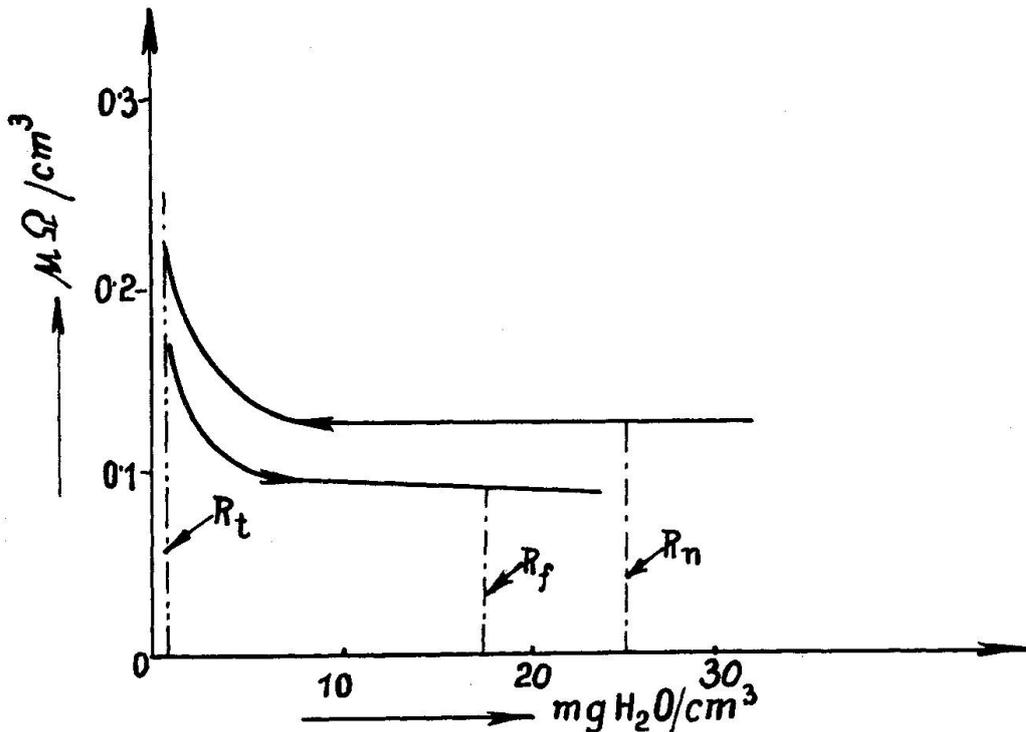
plötzlich verdampft, so steigt der Widerstand an (Trockeneffekt). Bei manchen geologischen Leitern ist die imaginäre Widerstandskomponente zu vernachlässigen. Bei diesen wird auch der resultierende Widerstand von der Frequenz ziemlich unabhängig sein. Leiter mit grosser imaginärer Komponente aber werden bei verschie-

Tafel I. Widerstände geologischer Leiter

Geologischer Leiter	Fundort	Trocken- Feuchter Widerstand R _t R _t		Bemerkung
		in MΩ/cm ³		
Basalttuff	Winaritz bei Prag	1600	10	
Haematit	Nučice bei Prag	0,17	0,08	
Quarzgemeinde	—	1300	1,5	
Spateisenstein	Kotterbach in der Slowakei	400	gering	
Sandstein Mittel-Oligocän	Mittelgebirge (böhm.-sächsische Grenze)	10	0,1	normalfeucht 1
Schwerspatgemeinde	Kotterbach in der Slowakei	800	gering	
Schiefer	do.	1,2	0,3	
Sandsteineinlagerung in Bakulitenmergel	Mittelgebirge	10	0,05	normal 5—7
Lösslehm	Tetschen in Nordböhmen	0,3—0,5	0,04—0,07	normal 0,12—0,07
Kalkhaltiger Sandstein	Mittelgebirge	6	—	normal 5
Zeolithisierter Tephrit	Mittelgebirge	5	0,5	normal 0,8
Nephelintephrit	Tetschen	1—1,2	1	normal 1
Lehmiger Sand	Tetschen	—	—	normal 0,5
Kalktuff	Mittelgebirge	4	—	normal 4
Kalksandstein	Mittelgebirge	10	—6	
Bakulitenmergel	Mittelgebirge	5	0,06	
Devonkalk	Mähr. Karst b. Brünn	1,2	0,3	

denen Frequenzen auch verschiedene resultierende Widerstände aufweisen (Frequenzeffekt). Die elektrischen Eigenschaften werden schliesslich mitunter auch eine Funktion des Winkels werden, den Stromrichtung und mineralogisch ausgezeichnete Achsen (z. B. Schieferungsrichtung) miteinander einschliessen. Den Einfluss der Durchfeuchtung auf den Widerstand eines geologischen Leiters kann man

durch eine Kurve darstellen, deren normalen Verlauf Abb. 2 zeigt. Auf der Ordinate ist der Widerstand eines Raumcentimeterwürfels in Megohm aufgetragen. Die Abscisse gibt den Gehalt an wässriger Lösung in mg für den Raumcentimeterwürfel an. Wir können aus dieser Abbildung einige wichtige Werte ablesen. Es sind dies zunächst der „feuchte“ Widerstand R_f . Praktisch erhalten wir diesen, wenn wir den betreffenden geologischen Leiter in Wasser einlegen und solange zuwarten, bis er keine Flüssigkeit mehr aufnimmt. Demgegenüber bezieht sich der „trockene“ Widerstand R_t auf einen Leiter,



1191. Lößlehm 300cm^3

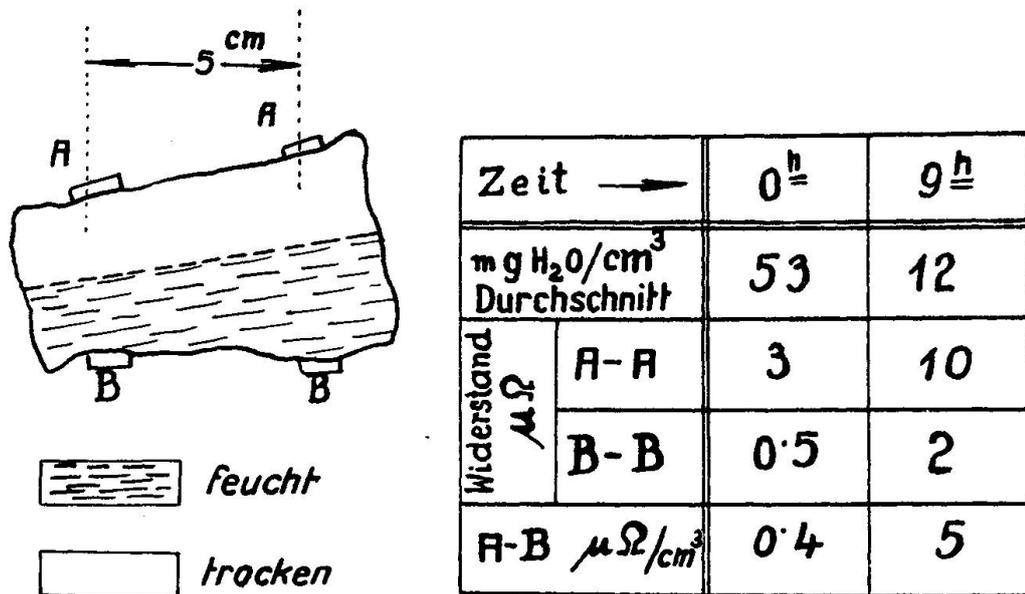
Abb. 3c

dem keine Flüssigkeit mehr anhaftet. Praktisch werden wir uns mit einem Trockenwiderstande begnügen müssen, den wir erhalten, wenn wir das Mineral bei ca. 60°C . solange austrocknen, bis sein Gewicht praktisch konstant bleibt. Aus der Abbildung 2 können wir schliesslich noch die sog. „relative Widerstandsänderung“ ablesen. Sie gibt die Steigung der Kurve $\Delta R/\Delta f$ im steilsten Teile an. In der Tafel I sind einige praktisch gemessene Werte zusammengestellt.

In der Abb. 3 sehen wir nun einige praktisch gemessene Kurven. Abb. 3 a zeigt einen ziemlich normalen Kurvenverlauf. In Abb. 3 b dagegen sehen wir eine Erscheinung, die für uns von grösster Wichtigkeit ist. Das im Zustande normaler Durchfeuchtung befindliche

Mineral [R_n bedeutet den „normalen“ Widerstand, der allerdings ein ziemlich variabler Begriff ist] wurde zunächst durch rasche Erwärmung ausgetrocknet. Dann wurde es wieder angefeuchtet. Infolge der höheren Temperatur stieg nun aber die Lösungskonzentration und daher nahm auch der Widerstand rascher ab. Die beiden Kurvenäste decken sich also nicht mehr. Ein ähnliches Beispiel sehen wir in Abb. 3 c. In Abb. 3 d schliesslich sehen wir, wie durch ungleichmässige Austrocknung der Widerstand in verschiedenen Teilen des geologischen Leiters ganz verschiedene Werte annehmen kann.

Um nun mit geologischen Leitern bequem operieren zu können, ist es nötig, diese durch elektrisch eindeutig bestimmte Leitergebilde



58. Sandstein Mitteloligocän 130 cm³

Abb. 3 d

zu ersetzen, also für diese das sog. Ersatzschema zu zeichnen. In der Regel wird die in Abb. 4 a skizzierte Anordnung gewählt. Zum Ohmschen Widerstande R_g liegt die Kapazität C_g parallel. Die Konstruktion des Phasenwinkels φ ist unter dem Schema gezeichnet. Natürlich darf man nicht immer das gleiche Ersatzschema wählen. In Abb. 4 b sehen wir z. B. ein solches für einen geschichteten Leiter. Die Messachse steht in diesem Falle senkrecht zu den Schichten. Durch eine einzige Messung können wir entweder nur eine Komponente oder aber den resultierenden Widerstand des geologischen Leiters erfassen. Bestimmen wir diesen, so müssen wir ihn dann noch in seine beiden Komponenten zerlegen. In Abb. 4 c ist dies schematisch dargestellt. Zunächst wird der geologische Leiter an

das Messgerät M angeschlossen und die Resonanzfrequenz bestimmt. Dann wird dieser durch eine reine Kapazität C'' ersetzt und diese wieder so gewählt, dass die gleiche Resonanzfrequenz erzielt wird. Das Diagramm 4 c zeigt nun, dass durch die Grösse C'' eine ganze Reihe verschiedener Leiter bestimmt sein können. Jede an die Kurve K angelegte Tangente schneidet von den beiden Achsen Stücke ab, die jeweils die Ohmsche und kapazitive Komponente eines möglichen Leiters bedeuten. Will man diese Vieldeutigkeit vermeiden, so muss man noch ein zweites Bestimmungsstück ermitteln. Wie dies bei den einzelnen Verfahren geschieht, kann hier nicht weiter ausgeführt werden. Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass in der Praxis

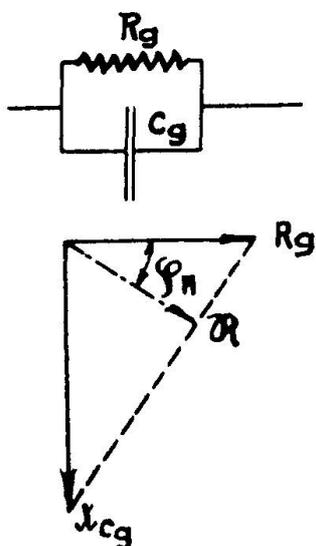


Abb. 4 a. Ersatzschema und Vektor-diagramm eines geologischen Leiters.

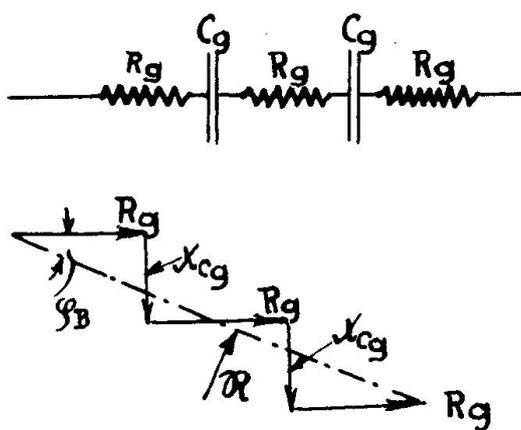


Abb. 4 b. Ersatzschema und Vektor-diagramm

sehr oft auch eine einfache Messung genügen kann, wenn nämlich durch bekannte geologische Faktoren die elektrische Vieldeutigkeit eingeschränkt werden kann.

Es wäre natürlich für uns von Wichtigkeit, die elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter so darzustellen, dass insbesondere der Einfluss der Durchfeuchtung und der Frequenz übersichtlich zum Ausdruck kommt. Dies kann so geschehen, dass wir zu jedem geologischen Leiter den sog. Diagrammkörper konstruieren. Auf den Achsen eines Koordinatensystems werden Frequenz, Durchfeuchtung, sowie Leitfähigkeit bzw. Dielektrizitätskonstante aufgetragen. Durch Eintragen der entsprechenden Werte erhält man dann Körper, die die elektrischen Eigenschaften des betreffenden geologischen Leiters anschaulich darstellen.

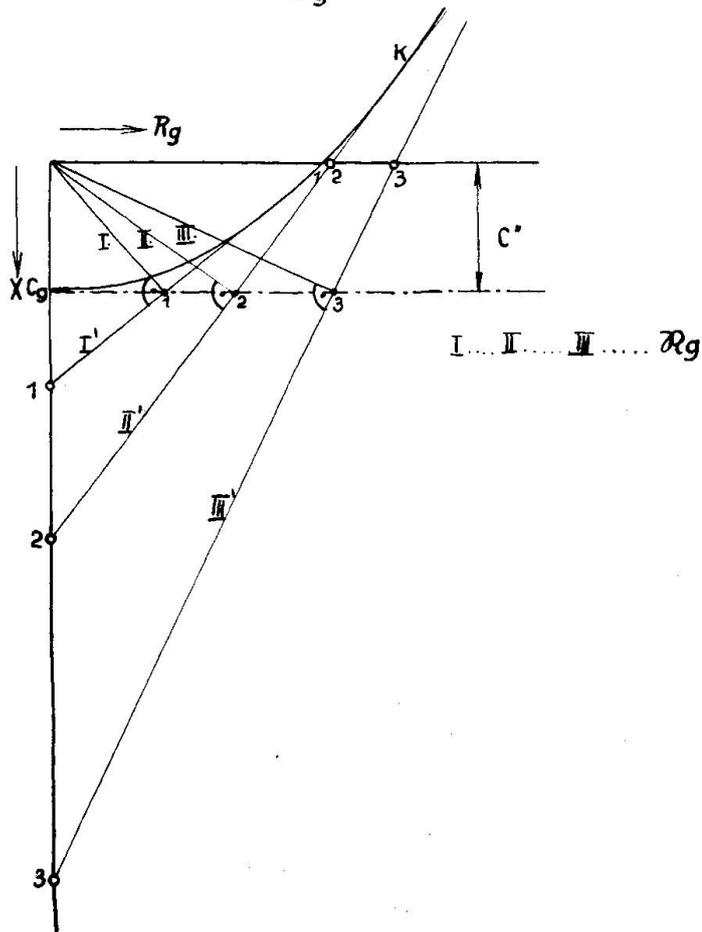
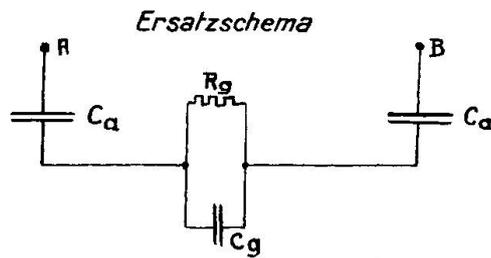
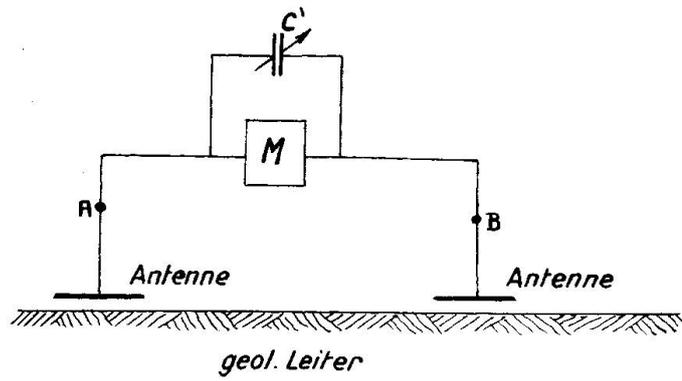


Abb. 4 c. Messung der elektrischen Eigenschaften des Untergrundes nach der sog. „Kapazitätsmethode“

Die Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante eines geologischen Leiters ist somit in erster Linie von der Menge und der Konzentration der in ihm enthaltenen wässrigen Lösungen abhängig. In der Regel werden Erzgänge als gutleitende Einschlüsse in schlechter leitendem Nebengesteine angesehen. Der trockene Erzgang besitzt aber in den meisten Fällen keine nennenswerte Leitfähigkeit. Oft leitet er sogar viel schlechter als das trockene Nebengestein. Erst die in beiden enthaltenen Lösungen bedingen den elektrischen Unterschied. Versuche, die ich selbst vornahm, zeigten, dass die Leitfähigkeit der Lösungen aus dem Erze ein vielfaches jener betrug, die dem tauben Gesteine entnommen wurden. Die Leitfähigkeit dieser Lösungen nimmt mit der Teufe zu. Sie ist überdies abhängig von der Löslichkeit und der chemischen Beschaffenheit des festen Anteiles, weiters von der Geschwindigkeit, mit der sich die Lösungen bewegen, von der Temperatur, dem Drucke und noch vielen anderen Faktoren. Da die Lösungen durchwegs durch atmosphärische Niederschläge zustande kommen, so ist es auch verständlich, wenn diese in erster Linie die elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter bestimmen. Der Zusammenhang zwischen Geoelektrik und Meteorologie ist daher ein sehr weitgehender und dessen Studium die wichtigste Voraussetzung für eine richtige Deutung der erhaltenen Messergebnisse. Wir wollen nun einige charakteristische Beispiele kurz besprechen.

C. MESSVERFAHREN

Bei den Ausbreitungsverfahren können meteorologische Einflüsse ganz allgemein dann einen Einfluss ausüben, wenn sie die elektrischen Eigenschaften jener geologischen Leiter, in denen oder entlang denen die Messfelder fortschreiten, verändern. Schematisch sehen wir das Grundprinzip einer Ausbreitungsmethode, wie sie unter Tags zur Anwendung gelangt, in Abb. 5 a skizziert. In dem untersuchten Volumen wird irgend ein Einschluss L vermutet, dessen elektrische Eigenschaften sich von jenen der Umgebung unterscheiden sollen. Bei S wird ein Sender und bei E ein Empfänger aufgestellt. Wie nun die Abbildung zeigt, wird das vom Sender S erzeugte Hertzsche Feld über verschiedene Wege zum Empfänger fortschreiten. In der Abbildung bedeutet S—6—7—E den sog. „umlaufenden Weg“. Ein weiterer Weg führt in gerader Richtung S—1—2—E, bzw. in einer Kurve S—3—E zum Empfänger. Überdies wird noch ein Teil der Feldenergie entlang vorhandener gutleitender Flächen, also etwa entlang des Grundwasserspiegels W (Weg S—4—5—E) fortgeleitet werden. Durch das zu suchende Vorkommen wird nur jener Teil der

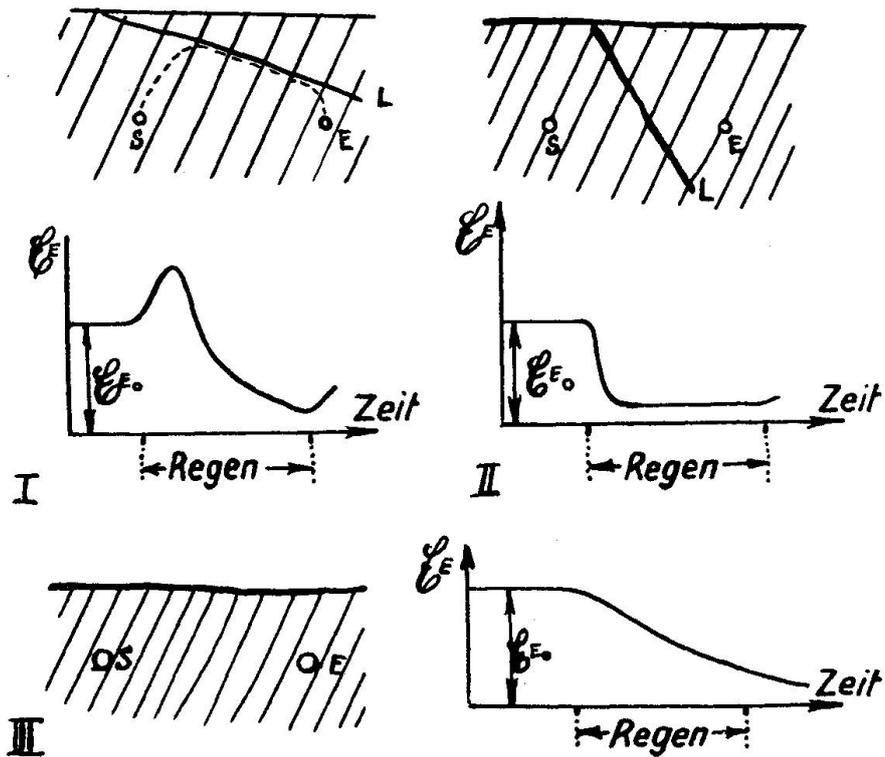
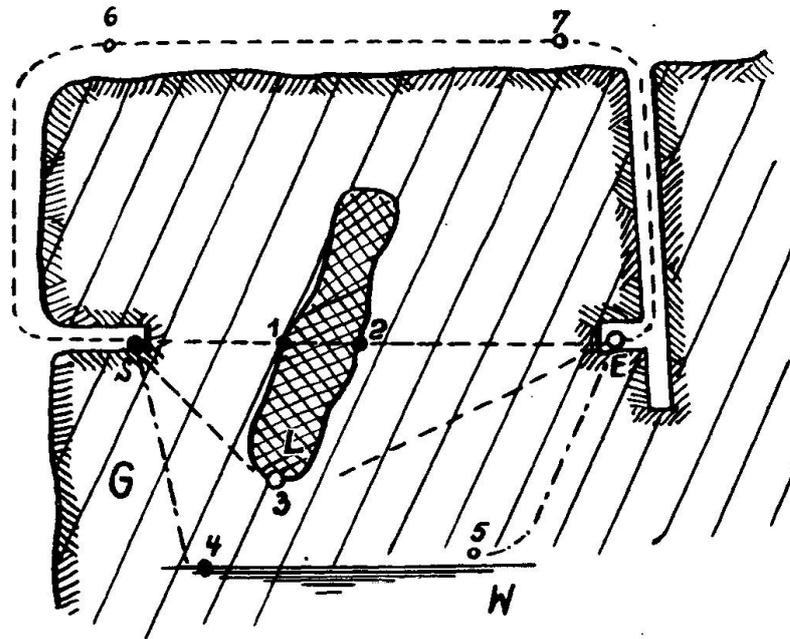


Abb. 5 b

Abb. 5 a. Prinzip der Absorptionsmethode
 Abb. 5 b. Einfluss einer wasserführenden Spalte auf die Ausbreitung Hertz-
 scher Felder

Feldenergie beeinflusst werden, der entlang der Geraden 1—2 fortschreitet. Theoretisch können nun alle diese Wege durch meteorologische Faktoren verändert werden. Zunächst wird durch Regen und Frost die oberste Erdschicht elektrisch verändert werden. Dies hat eine Beeinflussung des über den Weg 6—7 fortschreitenden Teilfeldes zur Folge. Das Innere des untersuchten Gebirges wird insbesondere in seiner Durchfeuchtung von der Witterung abhängig sein. Schliesslich wird auch noch die Wasserführung der Spalten und der Stand des Grundwassers nebst anderen wichtigen Faktoren von der Witterung abhängen. Wir kommen daher zu folgendem Ergebnis:

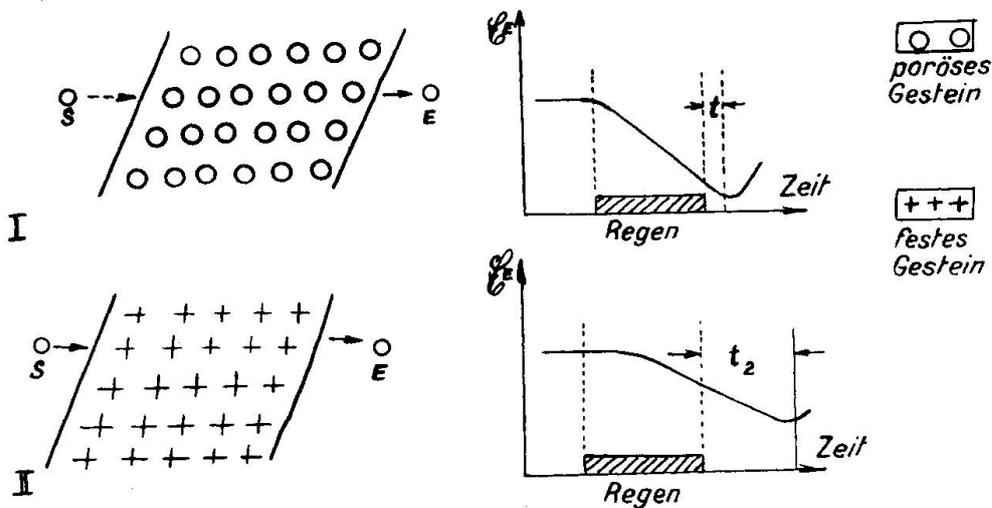


Abb. 5 c

1. Das in E gemessene Feld setzt sich aus Teilfeldern zusammen, die über ganz verschiedene Wege geleitet wurden.

2. Durch meteorologische Einflüsse wird nun sowohl das Amplitudenverhältnis als auch die Phasenlage der einzelnen Teilfelder weitgehend geändert. Es können auch neue Komponenten dazutreten.

3. Bei Veränderungen der Witterung werden daher auch die im Empfänger gemessenen Feldstärken beeinflusst werden. Es ist aber zu beachten, dass die Amplituden- und Phasenlage der einzelnen Teilfelder nicht gleichzeitig verändert werden. Bei Regen wird z. B. eine Spalte früher durchfeuchtet und ausgetrocknet sein als das anstossende feste Gestein. Daher wird das entlang einer solchen Spalte geführte Teilfeld früher beeinflusst werden als ein anderes, das durch das feste Gestein hindurch zum Empfänger gelangt.

Unter Umständen kann es daher vorkommen, dass zunächst entlang gutleitenden, durchfeuchteten Spalten grössere Reichweiten auftreten. Schreitet dann aber die Durchfeuchtung im festen Gesteine fort, so wächst auch die Absorption und die Reichweite nimmt wieder ab. In Abb. 5 b ist dies in drei Beispielen dargestellt. Bei I liegen

sowohl der Sender als auch der Empfänger unter einer Leiterfläche L. Wie das darunter gezeichnete Diagramm zeigt, wird die Reichweite aus dem eben angeführten Grunde bei Regen zunächst ansteigen und dann abfallen. Bei II liegt die gleiche Spalte L zwischen Sender und Empfänger. In diesem Falle wird sie gleich absorbierend wirken und daher eine rasche Abnahme der Reichweite bedingen. Bei III schliesslich sehen wir die Situation in homogenem festem Gesteine. Mit beginnendem Regen nimmt die Reichweite allmählich ab. Natürlich ist die zeitliche Phasenverschiebung zwischen Beginn des Regens und Reichweitenänderung von der Art und zwar insbesondere von der Porosität des betreffenden Gesteines abhängig ¹⁾. In Abb. 5 c sehen wir die prinzipiellen Schemen für festes und poröses Gestein. Auch die Beschaffenheit und Mächtigkeit der überdeckenden Schicht ist, wie dies auch noch erwähnt werden wird, von grösster Wichtigkeit. Ist diese wasserundurchlässig, so ist es natürlich unmöglich, aus elektrischen Vermessungen Schlüsse auf die Beschaffenheit tiefer liegender Schichten zu ziehen. Durch meteorologische Einflüsse werden überdies auch die Grundwasservorkommen Veränderungen erfahren. Wie nun zahlreiche Beobachtungen bewiesen haben, können diese ihrerseits die Strahldiagramme von Sendeantennen verändern. Bei längeren Regenperioden wird man daher Deformationen der Strahldiagramme beobachten können, die einerseits durch die Durchfeuchtung der obersten Erdschichten, andererseits durch Änderungen des Grundwasserspiegels und die Wasserführung von Spalten im Untergrunde bedingt sind.

Bei Frost treten ebenfalls Veränderungen in den Messergebnissen ein. Zuerst werden die oberen und später die tieferen Schichten einfrieren. Im allgemeinen wird die Tiefe, bis zu der der Frost in den Boden eindringen kann, nur gering sein. Für elektrische Messungen aber ist seine Wirkung doch wichtig. Gerade die oberste Schicht weist nämlich eine besonders hohe Absorption auf und diese wird durch den Frost ganz wesentlich herabgesetzt. Dadurch können auch Fröste noch in grösseren Teufen die elektrischen Messergebnisse wesentlich beeinflussen.

Natürlich ist es unmöglich, die hier vorkommenden Eventuali-

¹⁾ In festem ungestörtem Gebirge wird der Einfluss der Witterung in nennenswerten Teufen überhaupt nicht mehr nachzuweisen sein. In der Regel finden aber solche Messungen in stark gestörten Gebirgen (Gruben etc.) statt, wo Tagwässer teils durch Schächte und Strecken, vor allem aber durch zahlreiche Spalten oft recht tief eindringen können und dadurch die elektrischen Eigenschaften des Gebirges verändern.

täten erschöpfend darzustellen. In jedem einzelnen Falle muss auf die hydrologischen Voraussetzungen Bedacht genommen werden. Es ist aber durch zahlreiche Versuche erwiesen worden, dass Feuchtigkeitsänderungen durch elektrische Verfahren empfindlicher nachgewiesen werden können wie durch andere. So kann man z. B. die Wasseraufnahme eines Gesteines elektrisch bereits bestimmen, wenn die Gewichtszunahme auf einer normalen Analysenwaage noch nicht nachgewiesen werden kann. Dies bringt es aber auch mit sich, dass durch Witterungseinflüsse bedingte Änderungen der Durchfeuchtung, die nach unseren bisherigen Beobachtungen nur auf die obersten Erdschichten beschränkt erscheinen, die Ergebnisse von elektrischen Messungen noch in weit grösseren Teufen merklich beeinflussen können.

Bei den Widerstandsverfahren sind Witterungseinflüsse dann wirksam, wenn durch sie die im Messtromkreise liegenden geologi-

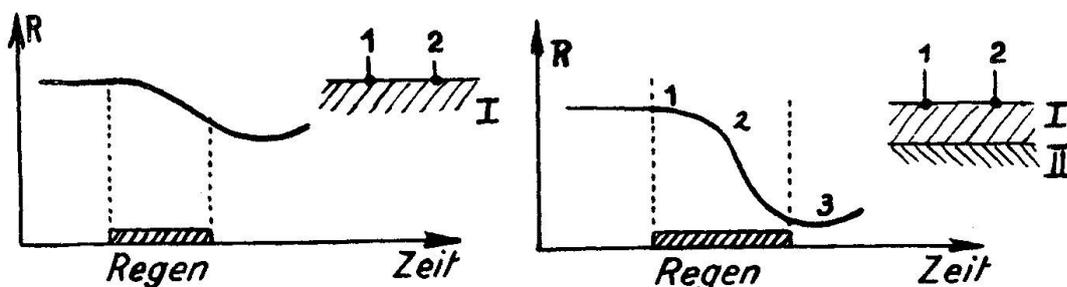


Abb. 6a

Abb. 6b

Einfluss der Witterung auf die elektrischen Eigenschaften geologischer Leiter

schon Leiter elektrisch verändert werden. Im allgemeinen sind die gleichen Gesichtspunkte massgebend wie bei den Ausbreitungsverfahren. Insbesondere muss auch hier berücksichtigt werden, dass die Durchfeuchtung und Austrocknung verschiedener Schichten nicht gleichmässig und gleichzeitig vor sich gehen wird. Es werden auch hier wieder Phasenverschiebungen auftreten, die je nach den näheren Umständen die Auswertung der Messergebnisse erleichtern oder erschweren werden. In Abb. 6 a sehen wir die Veränderung des Raumwiderstandes eines geologischen Leiters I zwischen den beiden Messpunkten 1 und 2 während einer Regenperiode. In Abb. 6 b sehen wir ein ähnliches Diagramm. Der Untergrund besteht aber aus zwei Schichten. I soll bei Durchfeuchtung einen höheren Widerstand aufweisen als II. Der Knick (Punkt 2) der Kurve zeigt uns an, zu welchem Zeitpunkte die Durchfeuchtung die Trennschicht zwischen I und II erreicht hat. Aus dem Verlaufe der Widerstandskurve kann man somit erkennen, ob elektrische Diskontinuitätsschichten existieren. Bei Hochfrequenz bedient man sich an Stelle der Elektroden

Antennen, die über dem zu untersuchenden Untergrunde verspannt werden. Nähere Angaben über diese Verfahren habe auch ich an anderer Stelle (2 und 4) bereits veröffentlicht. Durch die Witterungseinflüsse wird hier der „Übergriff“ dieser Schichten weitgehend verändert werden. Ausserdem ist noch der Skineffekt zu beachten. Bei hohen Frequenzen wird nämlich der Strom vornehmlich in den oberflächlichen Schichten der Leiter fließen. Veränderungen in diesen können somit das Gesamtergebnis weit stärker beeinflussen als bei Messungen mit niedrigen Frequenzen. So kann z. B. bei Frost mit Hochfrequenzen tiefer in den Boden eingedrungen werden als bei normalem Wetter, da die Leitfähigkeit gerade der obersten Schicht wesentlich herabgesetzt wird.

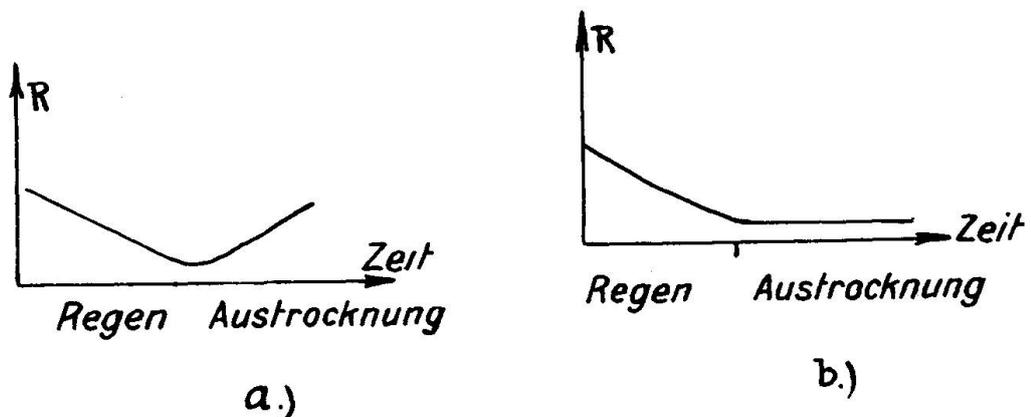


Abb. 7. Normaler (a) und abnormaler Verlauf (b) der Widerstandskurve

Nach Regen wird nun häufig diese oberste Schicht durch intensive Sonnenbestrahlung rasch ausgetrocknet. Dadurch wird ihr Wassergehalt sinken und daher auch ihr Widerstand im allgemeinen wieder zunehmen. Wie wir aber bereits gesehen haben, ist auch ein anderer Fall noch möglich. Durch die Erwärmung kann wohl die Durchfeuchtung geringer werden, die Konzentration des verbleibenden Flüssigkeitsrestes aber steigen. Dies bedingt dann eine Konstanthaltung oder sogar eine weitere Abnahme des Widerstandes. In Abb. 7 ist bei a) der allgemeine Fall und bei b) dieser mögliche Sonderfall skizziert. Freilich können solche Erscheinungen nur in den allerersten Erdschichten beobachtet werden. Gerade bei Hochfrequenzen können sie aber dennoch zu beträchtlichen Messfehlern Anlass geben.

D. DIE BERÜCKSICHTIGUNG DER METEOROLOGISCHEN FAKTOREN BEI DER AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

Wir haben bereits gesehen, dass die durch Witterungseinflüsse bedingten Widerstandsänderungen unter bestimmten Voraussetzun-

gen dazu benützt werden können, um die Auswertung der Messergebnisse zu erleichtern. In vielen Fällen aber wird man bemüht sein, gerade diese Einwirkungen nach Möglichkeit zu kompensieren. Kompensation ist prinzipiell auf zweierlei Weise möglich. Man kann zunächst auf Grund des vorliegenden Versuchsmateriales den Einfluss der Witterung berechnen oder schätzen und bei der Beurteilung des Gesamtergebnisses dann berücksichtigen. Dies ist natürlich ein überaus unsicherer Weg. Als Unbekannte tritt vor allem die elektrische Struktur des Bodens in Erscheinung und diese kann, wenn sie unrichtig vorausgesetzt wurde, jedes Messergebnis völlig entstellen.

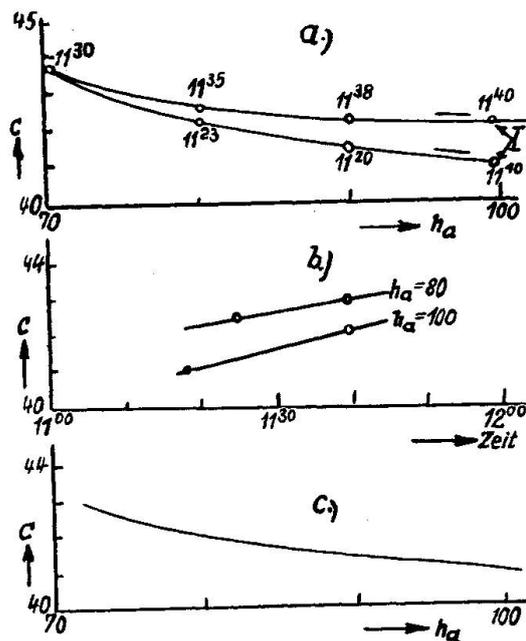


Abb. 8. Korrektur des durch Witterungseinflüsse hervorgerufenen Messfehlers

Weit sicherer ist es daher, die einzelnen Messungen ständig mit solchen zu vergleichen, die über gleichbleibenden Messorten (Festpunkten) oder entlang gleichbleibender Strecken (fester Standlinien) durchgeführt werden. Für die Wahl der Festpunkte und der festen Standlinien gelten natürlich bestimmte Bedingungen. Zunächst muss der Boden unter diesen eine homogene elektrische Struktur aufweisen. Es geht z. B. nicht an, solche über Spalten zu wählen, während die übrigen Messungen über einem Boden stattfinden, der — von den nachzuweisenden Einschlüssen abgesehen — homogen ist. Weiters muss verlangt werden, dass die Überdeckung in allen Fällen die gleiche sein muss. Dies bezieht sich besonders auf die Mächtigkeit und die Beschaffenheit der Deckschicht, auf die Art und Dichte der Vegetation und noch auf andere Faktoren. Auch müssen die Wasser-

abflussverhältnisse gleichartige sein. Man darf die Festpunkte nicht über Mulden auswählen, während das übrige Messgelände eben oder abschüssig ist. Schliesslich soll noch die gleiche Abschirmung gegen Witterungseinflüsse vorhanden sein. Es wäre unrichtig, die Festpunkte im Walde zu wählen, während das übrige Messgelände frei liegt. Die Durchführung von Kompensationsmessungen ist natürlich je nach den Voraussetzungen ganz verschieden. Hier sollen nur zwei Beispiele kurz erläutert werden.

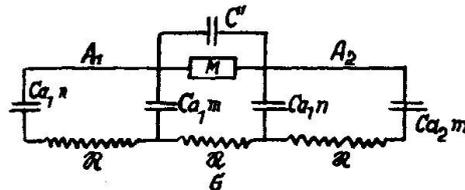


Abb. 9. Ersatzschema für die Antenne und den Untergrund

Wie schon erwähnt, treten die durch Witterungseinflüsse bedingten elektrischen Veränderungen im Untergrunde besonders bei jenen Verfahren in Erscheinung, die mit Hochfrequenz arbeiten. Bei diesen spielt ja die oberste Deckschicht, die Witterungseinflüssen be-

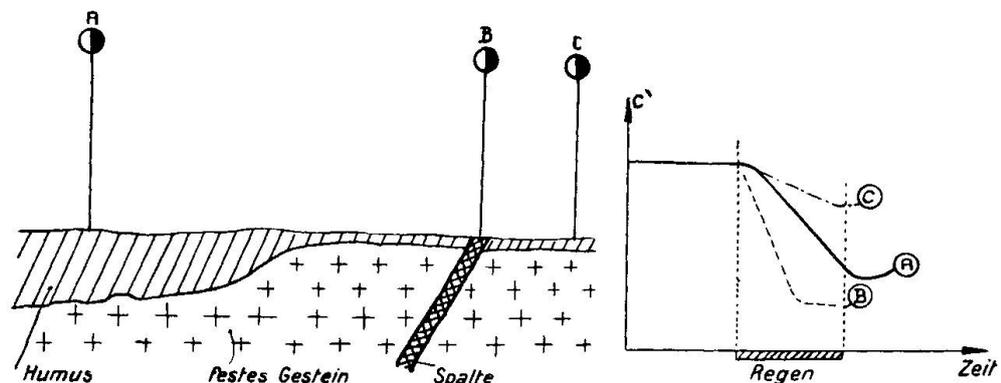


Abb. 10. Antennenersatzkapazitätskurven in der Umgebung einer Spalte

sonders zugänglich ist, eine sehr grosse Rolle. In Abb. 9 sehen wir das Ersatzschema für eine Antenne, die über geologischen Leitern gespannt ist. M bedeutet das Frequenzmessgerät, R den Widerstand des geologischen Leiters G, $A_1 \dots A_2$ sind die beiden Antennenäste und C_a bedeutet die Antennenkapazität gegen Erde. C' schliesslich ist die sog. Kompensationskapazität. Das Messgerät M wird auf eine bestimmte Frequenz eingestellt. Erfahren nun die elektrischen Eigenschaften der im Untergrunde enthaltenen geologischen Leiter Veränderungen, so wird auch die Frequenz des Kreises geändert werden. Um nun wieder die eingestellte Frequenz zu erhalten, muss der Kompensationskondensator C' verstellt werden. Der Wert der Kapazität

C' ist also von den elektrischen Eigenschaften des Untergrundes abhängig. In Abb. 8 sehen wir nun bei a) die Veränderung von C' während eines Versuches, der sich über ungefähr 30 Minuten erstreckte. Bei b) ist die zugehörige Veränderung von C' im gewählten Fixpunkte zu ersehen. Aus beiden kann dann die korrigierte Kurve abgeleitet werden, die bei c) dargestellt ist. Während bei a) die beiden Kurvenäste divergierten, stimmen sie nun gut überein. Bei sorgfältiger Arbeit gelingt es meistens, brauchbare Kompensationen zu erzielen. Ist allerdings der Fixpunkt falsch gewählt, so wird jede Kompensation unmöglich. In Abb. 10 ist dargestellt, wie ganz verschieden die C' -Kurve während des gleichen Regens über verschieden-

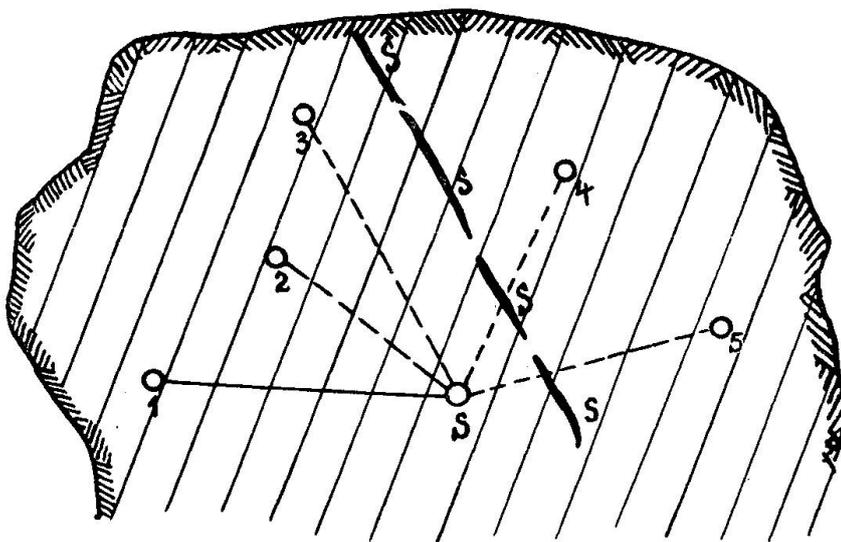


Abb. 11. Ausbreitung Hertzscher Felder im Gebirge

artigem Untergrunde ausfallen könnte. Würde man nun z. B. den Fixpunkt über der Spalte wählen, so wäre es ganz unmöglich, die dort erzielten Ergebnisse mit jenen zu vergleichen, die zu beiden Seiten dieses Punktes gewonnen wurden.

Bei den Ausbreitungsmethoden wird prinzipiell ganz analog vorgegangen. Auch hier kann man wieder Standlinien wählen und die Ergebnisse, die entlang dieser Strecken erzielt wurden, mit jenen vergleichen, die über andere Wege erhalten wurden. In Abb. 11 ist diese Standlinie zwischen dem Sender S und einem Versuchspunkte 1 angenommen. Auf diese werden dann alle anderen Ergebnisse reduziert. Prinzipiell sieht nun diese Sache sehr einfach aus. Praktisch aber handelt es sich gerade hier um ein ungemein kompliziertes Problem. Im allgemeinen werden nun freilich Kompensationen unter Tags nur selten vorkommen. Während kürzerer Messzeiten werden

die Verhältnisse ja kaum merkliche Änderungen erfahren. Die kurzzeitigen Schwankungen, wie sie bei Oberflächenversuchen so störend auftreten, kommen hier nicht in Betracht. Nur bei Messreihen, die sich über längere Zeiträume erstrecken, werden Kompensationen nötig sein. Während man nun ober Tags doch gewisse Eigenschaften des Untergrundes einigermaßen sicher abschätzen kann, ist dies unter Tags nicht mehr möglich. Vor allem weiss man nie, ob das Volumen, das von der festen Standlinie durchsetzt wird, homogen ist oder ob es von Spalten und Verwerfern durchzogen ist. Die schon früher aufgestellte Forderung, dass z. B. in unserem Falle das Volumen in dem von den Linien S 4, S 5 etc. durchsetzten Teilräumen die gleichen Eigenschaften aufweise wie entlang der Standlinie S 1, ist daher nie sicher zu erfüllen und damit entfällt die wichtigste Voraussetzung für die Anwendung irgend einer Kompensationsmethode. Unter Tags wird man daher nur in sehr wenigen Ausnahmefällen kompensieren können. Im allgemeinen wird es besser sein, auf solche Korrekturen überhaupt zu verzichten und nach Möglichkeit die Messreihen seitlich so zusammen zu drängen, dass sie nur eine möglichst kurze Zeit erfordern. Ausserdem wird man sich bemühen, bei andauernd gleichmässiger Witterung zu arbeiten, um die Einflüsse an der Oberfläche nach Möglichkeit auszuschneiden.

Zum Schlusse sei noch darauf verwiesen, dass die hier nicht im einzelnen ausgeführten funkgeologischen Probleme insbesondere in den nachstehend angeführten Publikationen behandelt wurden. Bei der Durchführung der hier besprochenen Versuche wurde der Verfasser von der Deutschen Gesellschaft der Wissenschaften und Künste in der Tschechoslowakei unterstützt, wofür der Verfasser seinen Dank ausspricht.

Einige Publikationen des gleichen Verfassers über ähnliche Fragen

1. Beitr. ang. Geophysik 5, 1935, 315 ff.
2. Ibidem 5, 1936, 375.
3. Ibidem 6, 1937, 217 ff.
4. Ibidem 6, 1937, 407.
5. Ibidem 7, 1937, 53.
6. Hochfrequenz u. E. 46, 1935, 124.
7. Ibidem 46, 1935, 186.
8. ETZ. 57, 1936, 857.
9. E. und M. 54, 1936, Heft 52.

Brünn und Prag, im Oktober 1937.

Eingegangen: 28. Oktober 1937.