

SAMMLUNG VIEWEG
TAGESFRAGEN AUS DEN GEBIETEN
DER NATURWISSENSCHAFTEN
UND DER TECHNIK

Heft 116

Volker Fritsch
Grundzüge
der Funkgeologie



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH



Die „Sammlung Vieweg“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren **augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten**. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig, und zwar für:

- Physik** (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):
Herr Reg.-Rat Dr. **Hermann Ebert**, Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Charlottenburg;
- Chemie** (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):
Herr Prof. Dr. **Bernhard Neumann**, Technische Hochschule Breslau;
- Technik** (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):
Herr Prof. Dr.-Ing. e. h. **Fritz Emde**, Techn. Hochschule Stuttgart.

Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 31. Dr. Heinrich Faßbender: *Die technischen Grundlagen der Elektro-medicin*. Mit 77 Abbildungen. *R.M.* 3,60.
- Heft 32/33. Prof. Rudolf Richter: *Elektrische Maschinen mit Wicklungen aus Aluminium, Zink und Eisen*. Mit 51 Abbildungen. *R.M.* 5,40.
- Heft 34. Obering. Carl Beckmann: *Haus- und Geschäfts-Telephonanlagen*. Mit 78 Abbildungen. *R.M.* 2,70.
- Heft 35. Dr. Aloys Müller: *Theorie der Gezeltenkräfte*. Mit 17 Abb. *R.M.* 2,70.
- Heft 36. Prof. Dr. W. Kummer: *Die Wahl der Stromart für größere elektrische Bahnen*. Mit 7 Abbildungen. *R.M.* 2,25.
- Heft 37. Dr. Reinhold Rieke: *Die Arbeitsmethoden der Silikatchemie*. 2. Aufl. Mit 4 Abbildungen. *R.M.* 3,15.
- Heft 39/40. Dr. Richard Grammel: *Die hydrodynamischen Grundlagen des Fluges*. Mit 83 Abbildungen. *R.M.* 3,15.
Vergriffen.
- Heft 41/42. Ingenieur Georg Duffling: *Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung*. Mit 23 Abb. *R.M.* 4,25.
- Heft 43. Dr. Robert Schwarz: *Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe*. 2. vermehrte Auflage. Mit 10 Abbildungen. *R.M.* 1,80.
- Heft 44. Dr. Iwan Döry: *Einphasenbahnmotoren*. Mit 75 Abbildungen. *R.M.* 2,70.
- Heft 45. Prof. Dr. K. Fajans: *Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen*. Durchgesehener Abdruck der 4. Auflage. Mit 11 Abbildungen und 14 Tabellen. *R.M.* 4,50.
- Heft 46. Dr. Bruno Alexander-Katz: *Quarzglas und Quarzgut*. Mit 43 Abb. *R.M.* 2,25.
- Heft 47. Prof. Dr. G. Berndt: *Radioaktive Leuchtfarben*. Mit 28 Abbildungen im Text und auf einer Lichtdrucktafel. *R.M.* 3,60.

Fortsetzung siehe 3. und 4. Umschlagseite.

Grundzüge der Funkgeologie

Von

Dipl.-Ing. Dr. Volker Fritsch, VDE.
Brünn



90 Abbildungen

SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH
1939

Herausgeber dieses Heftes:
Reg.-Rat Dr. Hermann Ebert, Berlin-Charlottenburg

ISBN 978-3-663-00632-9 ISBN 978-3-663-02545-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-02545-0

Alle Rechte vorbehalten

Vorwort

Die Funkgeologie bildet ein Grenzgebiet zwischen der Physik und Geologie, bzw. Mineralogie und deren beiderseitigen Hilfswissenschaften. Versuche, zwischen der Funkphysik und der Geologie Brücken zu schlagen, sind nicht erst in letzter Zeit unternommen worden. Sie erstrecken sich vielmehr über einen Zeitraum von mehr als drei Jahrzehnten. Diesen Bestrebungen ist auch keineswegs der praktische Erfolg versagt geblieben. Es gelang vielmehr schon vor Jahren, durch funkphysikalische Methoden unterirdische Lagerstätten aufzuschließen. Auch die Herstellung untertägiger Funkverbindungen auf größere Entfernung wurde des öfteren möglich. Trotzdem fehlte der gesamten funkgeologischen Forschung bis in die letzten Jahre die notwendige Organisation. Man beschränkte sich darauf, einzelne jeweils interessante Kapitel zu bearbeiten, ohne auf deren gegenseitige Beziehungen genügend Rücksicht zu nehmen. So kam es dazu, daß zwar manche wertvolle Arbeit geleistet wurde, die Grundlagen dieser Wissenschaft aber fast völlig unbekannt blieben.

Die Fortschritte, die die Funkphysik in der letzten Zeit erzielte, brachten es mit sich, daß auch auf diesem Gebiete systematische Forschung einsetzte. Die Ergebnisse sind an vielen Stellen der Fachliteratur veröffentlicht worden. Leider sind sie aber über eine so große Zahl von Zeitschriften, die überdies auch noch ganz verschiedenen Disziplinen angehören, verteilt, daß sie selbst der Fachmann oft nur schwer auffinden kann. Man darf nicht übersehen, daß manche wertvolle Publikation schon durch den Titel der Nachforschung des Funkgeologen entzogen bleibt.

Es erscheint mir daher nicht überflüssig, die bisherigen Ergebnisse der Forschung, soweit sie natürlich für die weitere Entwicklung dieser Wissenschaft von Bedeutung sind, übersichtlich zu ordnen und auch jene Prinzipien kurz darzustellen, die bei der Behandlung funkphysikalischer Probleme allgemein zu beachten wären.

IV

In dieser Schrift ist es natürlich nicht möglich, das gesamte Beobachtungsmaterial vollständig zu registrieren und überhaupt das gesamte Thema erschöpfend zu behandeln. Dies kann aber auch kaum die Aufgabe dieser Arbeit sein, da es ja keineswegs an vorzüglichen Handbüchern der Funkphysik und der Funktechnik fehlt, die die erforderlichen allgemeinen Grundlagen behandeln und andererseits auch eine völlig lückenlose Darstellung der Funkgeologie heute doch wohl nur mehr historisches Interesse beanspruchen könnte. Überdies fanden ja auch viele Versuche, über die besonders die ältere Literatur zu berichten weiß, unter Voraussetzungen statt, die heute keineswegs mehr ausreichend überprüft werden können und deren Ergebnisse daher gleichfalls nicht mehr einwandfrei zu beurteilen sind.

In dieser Arbeit soll daher von den Grundlagen nur das behandelt werden, was zum Verständnis der besonderen Ausführungen unbedingt nötig ist. Das Hauptaugenmerk wird besonders der Forschung der letzten Jahre zugewendet. Damit wird auch der Aufgabe dieser Sammlung entsprochen, die ja vornehmlich darin besteht, Wissenschaften darzustellen, die noch im Stadium der Entwicklung stehen.

Die Hinweise auf die Literatur geben dem Leser die Möglichkeit, nach Belieben auf die Originalstellen zurückzugreifen.

Wenn der Verfasser mit dieser Schrift zum ersten Male versucht, die Ergebnisse der funkgeologischen Forschung einigermaßen zusammenzufassen, so erfüllt er eine selbstverständliche Pflicht der Dankbarkeit, wenn er an dieser Stelle auch aller jener gedenkt, die ihm bei seinen Arbeiten in den letzten zehn Jahren in entgegenkommender und uneigennütziger Weise geholfen und diese unterstützt haben. Vor allem sind dies die Bergdirektion in Kotterbach, die Direktion der Alpinen Montangesellschaft in Eisenerz, die ČSD, Prag, die DDSG, Wien und die Direktionen der Gruben von Grünbach und Kirchbichl. Von den zahlreichen Personen, die die Durchführung der verschiedenen Versuche ermöglicht oder unterstützt haben, seien Prof. Dr. Absolon, Hofrat, Prof. Dr. h. c. Birk, Generaldirektor Federer, Dipl.-Ing. Fleischer, Präsident Horny, Obersteiger Martinko, Min.-Rat Dipl.-Ing. Dr. Mautner, Prof. Dipl.-Ing. Dr. Niethammer, Bergdirektor Dipl.-Ing. Dr. Rösner, Min.-Rat Dipl.-Ing. Dr. Santo Passo und Abgeordneter Šamalík genannt. Die Firmen: Dralowidwerke, Hornywerke, Palaba und

Philips haben dem Verfasser mehrmals ihre Geräte zur Verfügung gestellt. Die Deutsche Gesellschaft der Wissenschaften und Künste in der Tschechoslowakei, der Masaryk-Denisfond des tschechoslowakischen Nationalrates für wissenschaftliche Forschung, der Prager Verband Würu und die Witkowitzter Gewerken haben durch finanzielle Unterstützung viele der hier beschriebenen Versuche ermöglicht. Schließlich dankt der Verfasser auch noch den vielen Arbeitern, Angestellten und Beamten aller jener Betriebe, in denen er seine Untersuchungen durchgeführt hat, in gleicher Weise seinen heutigen und früheren Mitarbeitern Dipl.-Ing. Bradaček, Matejcek-Klapal, Ing. Mrha, Viktorin, Dipl.-Ing. Woharek und Woletz.

Brünn, im Dezember 1938.

Volker Fritsch

Inhalt

	Seite
Vorwort	III
A. Allgemeines	
1. Name und Aufgaben der Funkgeologie.....	1
2. Einteilung der Funkgeologie,.....	2
B. Einige wichtige funkphysikalische Grundlagen	
1. Das hochfrequente elektromagnetische Feld	3
2. Ausbreitung hochfrequenter elektromagnetischer Felder ...	5
3. Führung und Ablenkung von Feldern	6
4. Wege und Verluste	7
5. Antennen	10
6. Ersatzschemas	17
7. Allgem. Gesichtspunkte für die Vornahme funkphysikalischer Messungen	18
C. Der geologische Leiter	
1. Allgemeine Gesichtspunkte	20
2. Feste Bestandteile und ihr Verhalten bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt.....	21
3. Flüssige Bestandteile	23
4. Gasförmige Bestandteile	29
5. Die oberste Erdkruste als geologischer Leiter	29
6. Ersatzschema für geologische Leiter	30
D. Ausbreitungslehre	
1. Feldstärkemessung und Felddiagnose	35
2. Ausbreitungsversuche unter und über Tags.....	41
3. Beeinflussung der Ausbreitung durch funkgeologische, meteorologische und andere Faktoren.....	52

	Seite
E. Funkmutung	
1. Bezeichnung und Grundlagen	55
2. Ausbreitungsverfahren	
a) Allgemeines.....	56
b) Absorptionsverfahren	59
c) Frequenzverfahren	64
d) Ablenkungsverfahren	65
3. Widerstandsverfahren	66
4. Sonstige Verfahren	77
F. Grubenfunk	
1. Physikalische und betriebstechnische Voraussetzungen	79
2. Gesichtspunkte für die Planung	84
G. Andere Anwendungen der Funkgeologie	
1. Anwendung in der Geologie und Montanistik	85
2. Anwendung in der Elektrotechnik	86
3. Funkgeologisch-biologische Grundprobleme	91
4. Sonstige Anwendungen	93
H. Literaturliste	98

A. Allgemeines

Die Funkgeologie ist ein Grenzgebiet zwischen den exakten und beschreibenden Naturwissenschaften. Sie schlägt eine Brücke von der Funkphysik in das Gebiet der geologisch-mineralogischen Wissenschaften. Die Funkgeologie untersucht die Wechselbeziehungen, die zwischen der Existenz eines hochfrequenten Hertzschen Feldes und eines geologischen Leiters bestehen. Diese können zweifacher Art sein. Zunächst kann der geologische Leiter im Hertzschen Felde Veränderungen physikalischer oder chemischer Natur erleiden. Dann aber wird auch das Feld durch die im Feldraume vorhandenen geologischen Leiter verändert.

Die gegebene Definition begrenzt auch gleichzeitig das Arbeitsgebiet der Funkgeologie. Es umfaßt:

1. Die Ausbreitungslehre,
2. die Lehre von der Funkmutung und
3. die Funkmineralphysik und -chemie.

Als Hilfswissenschaft ist die Lehre von den physikalischen und chemischen Eigenschaften geologischer Leiter im hochfrequenten Feld- oder Stromraume zu entwickeln.

Die Funkgeologie muß sowohl die Methoden der mathematischen als auch jene der beschreibenden Naturwissenschaften beobachten. So sehr es wünschenswert wäre, alle Beziehungen mathematisch zu formulieren, so sinnlos muß es erscheinen, an eine mathematische Darstellung früher zu denken, als die in Betracht kommenden Leiter und Leitungsvorgänge ausreichend beschrieben sind. Die Ausbildung eigener mathematischer Theorien erscheint auch deshalb überflüssig, weil diese ohne weiteres von der allgemeinen Funkphysik übernommen werden können. Die Aufgabe der Funkgeologie muß aber darin bestehen, durch ausreichende Beschreibung und Klarstellung aller natürlichen Vorgänge die Voraussetzungen für eine

Anwendung der bestehenden Theorien zu schaffen. An einem Beispiel sei dies kurz gezeigt. Die Ausbildung eines Hertzsches Feldes in einem Raume von bekannten elektrischen Leitungseigenschaften kann im Sinne lange bekannter Theorien behandelt werden. Es wäre daher auch ohne weiteres möglich, zu bestimmen, wie tief ein Hertzsches Feld von bestimmter Frequenz in ein Gebirge eindringen kann. Tatsächlich wurden solche Berechnungen auch angestellt. Sie ergaben Reichweiten von wenigen Dezimetern. Wenn nun unter

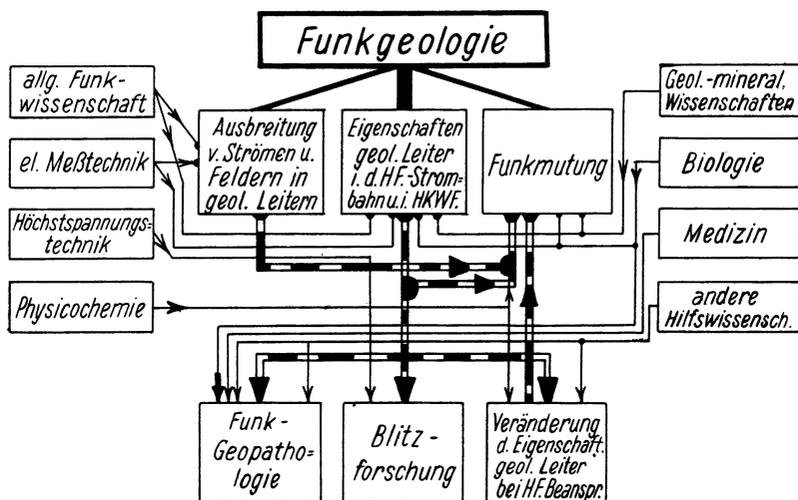


Abb. 1. Einteilung der Funkgeologie

natürlichen Voraussetzungen Reichweiten von hundert und mehr Metern erzielt wurden, so trägt für die Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung nicht die Unzulänglichkeit der theoretischen Ansichten die Schuld, sondern einfach der Umstand, daß man die Struktur, die Wasserführung und viele andere Bestimmungsstücke des geologischen Leiters nicht in Rechnung stellte. Die Funkgeologie muß daher vor allem bestrebt sein, Beobachtungsmaterial zu schaffen und dieses richtig auszuwerten. Sie muß die geologischen Leiter so ausreichend beschreiben, daß sie durch elektrisch eindeutig definierte ersetzt werden können, auf die dann die bestehenden Theorien angewendet werden können.

Für die Bezeichnung „Funkgeologie“ erscheint in älteren Publikationen der Name „Radiogeologie“. Dieser kann aber zu Irrtümern Anlaß geben, da die „Radiogeologie“ Strahlungen, nicht aber die Ausbreitung hochfrequenter Felder und Ströme zu untersuchen hat.

Zwischen der Funkgeologie und manchen anderen Wissenschaften wurden in den letzten Jahren brauchbare Ansätze zur Ausbildung neuer Grenzgebiete geschaffen. Zu diesen zählen u. a. die Geopathologie, die aber kaum über die ersten Anfänge hinausgediehen ist. Wesentlich weiter ist heute bereits die funkgeologische Blitzforschung fortgeschritten.

B. Einige wichtige funkphysikalische Grundlagen

Die Funkgeologie beschäftigt sich mit der Ausbreitung hochfrequenter Wechselströme und Felder unmittelbar über und in dem Erdboden. Es seien daher zunächst der Vollständigkeit halber die wichtigsten Grundlagen der Funkphysik kurz zusammengestellt. (Ausführlicher in den verschiedenen Handbüchern der Funkphysik z. B. de Haas u. M., Rein-Wirtz, Vilbig, Zenneck-Rukop.)

1. Das hochfrequente elektromagnetische Feld

Als elektromagnetischen Feldraum wollen wir jenen Raum bezeichnen, in dem elektrische und magnetische Kräfte wirksam

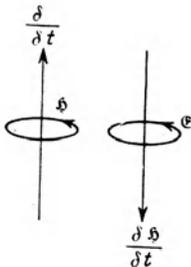


Abb. 2. Elektrisches und magnetisches Feld

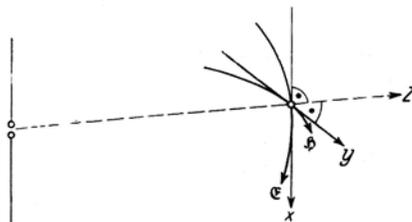


Abb. 3. Hertz'sches Feld

sind, die zeitlich verkettet ablaufen. Diese Verkettung zeigt Abb. 2. Als Quelle eines solchen Feldes können wir Dipole verwenden.

Den Verlauf der elektrischen und magnetischen Kraftlinien in der Umgebung eines solchen Dipols zeigt Abb. 3. Jene verlaufen in der Meridianebene, diese in der Äquatorialebene.

Wird die Fläche F vom magnetischen Flux \mathfrak{H} durchsetzt, so entsteht die elektrische Umlaufspannung

$$\oint \mathfrak{E}_s ds = \mu F \frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial t} = \frac{\partial \Phi}{\partial t}.$$

Andererseits bedingt jeder Strom i wieder eine magnetomotorische Kraft

$$\oint \mathfrak{H}_i dl = 4 \pi i.$$

Der Strom i ist in den für uns praktisch in Betracht kommenden Fällen in der Regel aus einem Leitungs- und einem Verschiebungsstrom zusammengesetzt:

$$\oint \mathfrak{H}_i dl = 4 \pi \left[\mathfrak{E} \sigma + \frac{\varepsilon}{4 \pi c^2} \frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial t} \right] F.$$

F bedeutet die Leiterfläche senkrecht zur Stromrichtung, ε die Dielektrizitätskonstante (DK), σ die Leitfähigkeit und c die Lichtgeschwindigkeit $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec.

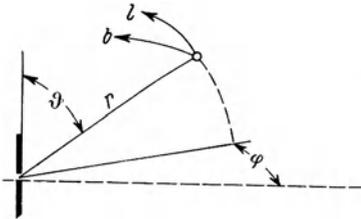


Abb. 4. Feld eines Dipols

Der Zusammenhang zwischen \mathfrak{E} und \mathfrak{H} in irgendeinem in Polarkoordinaten bestimmten Raumpunkte wird bekanntlich durch die folgenden Maxwell-Hertz'schen Gleichungen dargestellt. Bedeutet in Abb. 4 l die Länge, b die Breite und r den Radius des Aufpunktes, so wird

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{\partial \mathfrak{E}_r}{\partial \vartheta} + \frac{\partial \mathfrak{E}_l}{\partial r} + \frac{1}{r} \mathfrak{E}_l &= \frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial t}, \\ \frac{1}{r} \frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial \vartheta} + \frac{1}{r} \mathfrak{H} \operatorname{ctg} \vartheta &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathfrak{E}_r}{\partial t}, \\ \frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial r} + \frac{1}{r} \mathfrak{H} &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathfrak{E}_l}{\partial t}. \end{aligned}$$

Das Feld kann man schließlich auch durch einen einzigen nach Hertz benannten Vektor \mathfrak{J} darstellen, der folgendermaßen bestimmt ist:

$$\mathfrak{H} = -\sin \vartheta \frac{\partial^2 \mathfrak{Z}}{\partial t \partial r}, \quad \mathfrak{E}_r = -\frac{2c^2}{r} \cos \vartheta \frac{\partial \mathfrak{Z}}{\partial r}$$

$$\mathfrak{E}_t = c^2 \sin \vartheta \left[\frac{1}{r} \frac{\partial \mathfrak{Z}}{\partial r} + \frac{\partial^2 \mathfrak{Z}}{\partial r^2} \right].$$

Den gesamten Feldraum können wir in drei Zonen einteilen. Es sind dies

1. das Nahstrahlungsgebiet [$\mathfrak{E} \sim \mathfrak{E}_0 1/r^3$],
2. das Zwischenstrahlungsgebiet [$\mathfrak{E} \sim \mathfrak{E}_0 1/r^2$] und
3. das Fernstrahlungsgebiet [$\mathfrak{E} \sim \mathfrak{E}_0 1/r$].

Die räumliche Ausdehnung dieser Gebiete ist von der Länge der verwendeten Welle abhängig.

2. Ausbreitung hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Wir müssen zwischen der Ausbreitung im homogenen und im inhomogenen Raume unterscheiden. Als wichtiger Sonderfall kommt die Ausbreitung an der Trennungsebene zweier elektrisch verschiedenartiger Räume in Betracht. Die Welle wird sich entweder frei ausbreiten (freie Raumwellen) oder aber entlang elektrischer Diskontinuitäten geführt werden (geführte Wellen).

Für die elektrische Feldstärke einer freien Raumwelle im Fernstrahlungsraume gilt

$$\mathfrak{E} \sim \mathfrak{E}_0 \frac{1}{r} \cdot e^{-\gamma r},$$

für die Energie erhalten wir:

$$N \sim N_0 1/r^2.$$

Als „ebene Wellenfront“ sprechen wir senkrecht zur Ausbreitung gestellte Flächen an, deren Ausdehnung zur Wellenlänge klein und der Abstand von der Quelle zur Wellenlänge groß ist. Für ebene Wellen in Nichtleitern gilt

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_0 \cos \left[\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda} \right],$$

wird $r = \lambda$ und $t = 0$, so erhält man:

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_0.$$

Der elektrische und der magnetische Vektor sind hierbei gleichphasig. Für ebene Wellen in Leitern gilt die Beziehung

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_0 e^{-r\gamma},$$

wobei γ die Schwächungsziffer darstellt. Diese ist, wie wir noch sehen werden, eine mehrfache und komplizierte Funktion der Wellenlänge.

3. Führung und Ablenkung von Feldern

Trifft eine freie Welle auf eine elektrische Diskontinuitätsfläche, so kann sie in ihrem weiteren Verlaufe geführt oder abgelenkt werden. Rechnerisch läßt sich dieses Problem nur dann übersichtlich behandeln, wenn die durch diese Diskontinuitätsfläche geschiedenen

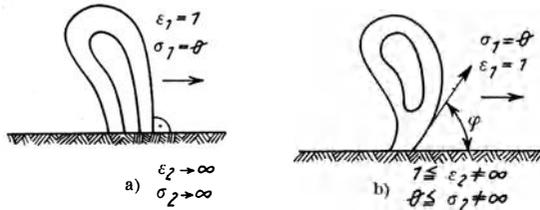


Abb. 5. Elektrisches Feld über gut und schlecht leitendem Untergrund

Räume elektrisch homogen sind. In Abb. 5 sind zwei wichtige Einzelfälle dargestellt. Im Falle a) steht das Feld senkrecht zur Ausbreitung, im Falle b) ist es vorgeneigt. Im Falle a) besteht weiter zwischen den beiden Vektoren Phasengleichheit, im Falle b) dagegen Phasenverschiebung. Es tritt hier eine Drehfeldkomponente auf. Das entsprechende Diagramm zeigt Abb. 6.

Bei sehr guter Bodenleitfähigkeit (oder über Seewasser) erhalten wir für das Fernfeld:

$$\mathfrak{E}_0 = 120 \pi \frac{\alpha h^{\text{cm}} J_0^{\text{Amp.}} \text{ Volt}}{\lambda^{\text{cm}} r^{\text{cm}} \text{ cm}}, \quad \mathfrak{H}_0 = 4 \pi \frac{\alpha h}{\lambda} \frac{J_0}{r} \text{ C G S}$$

(αh = wirksame Antennenhöhe, J_0 = Strom im Strombauch der Antenne, r = Abstand).

Ist der Untergrund nicht homogen, so sind die Verhältnisse weit komplizierter. Es sind insbesondere Flüsse, Grundwasservorkommen, Gebirge, weiter die Tektonik, die Vegetation und vieles andere von

Bedeutung. Diese Fragen werden noch später behandelt werden. Die Neigung des Feldes nimmt bei schlechter Bodenleitfähigkeit und abnehmender Wellenlänge zu. Die Eindringtiefe nimmt mit zunehmender Wellenlänge im allgemeinen zu. Im Bereiche unter 100 Meter Wellenlänge aber treten Anomalien auf.

Bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen über dem Erdboden sind aber auch die verschiedenen Schwankungen zu berücksichtigen, denen diese durch den Einfluß der Bestrahlung, der Witterung und anderer Faktoren ausgesetzt sind. Im Bereiche der kurzen und kürzesten Wellen treten auch noch weitere Anomalien auf, die bis heute noch nicht vollständig geklärt sind.

Bei Versuchen, die sich über größere Entfernungen erstrecken, ist zu berücksichtigen, daß oft das Feld über mehrere Wege von verschiedener Länge und über verschiedenartigen Untergrund zum Aufpunkte fortschreitet.

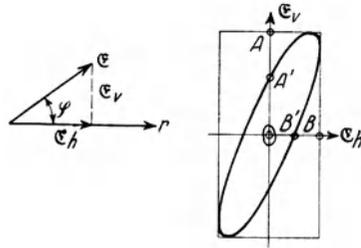


Abb. 6. Aufspaltung des Feldes in eine horizontale und vertikale Komponente

An Stelle der geometrischen Entfernung werden oft die sogenannte numerische Entfernung und die Reichweite angegeben. Unter der numerischen Entfernung versteht man die Länge:

$$r_{\text{num.}} = \frac{1}{6\sigma} \cdot \frac{1}{\lambda^2} \cdot r \cdot \pi \cdot 10^{-15}.$$

Als Reichweite „R“ bezeichnen wir schließlich die Länge jenes Weges, über den das Feld vom Betrage der Feldstärke \mathcal{E}_0 auf den Betrag \mathcal{E}_0/e zurückgegangen ist. Neben dieser allgemein definierten Reichweite werden auch noch andere fallweise angewendet. So wählt man solche für Detektorempfang, für einfachen Röhrenempfang usw.

4. Wege und Verluste

Die Feldenergie schreitet von der Quelle des Feldes zu dem gewählten Aufpunkte über einen oder mehrere Wege fort. Wir bezeichnen diese als Quellwege. Jener Weg, über den der größte Anteil der Feldenergie zum Aufpunkte gelangt, heißt Hauptquellung.

An einem Beispiel, das Abb. 7 zeigt, wollen wir uns dies veranschaulichen.

Wir sehen in dieser Abbildung einen Schnitt durch einen Raum, der mit geologischen Leitern erfüllt ist. In diesen sei eine verhältnismäßig flache Schicht F von Leitern eingebettet, deren Widerstand geringer ist als jener der Umgebung. Außerhalb des Raumes bei Q ist die Quelle des Feldes angenommen. Das Feld wird einmal auf dem direkten Wege über den Punkt 2 zum Aufpunkt E fortschreiten. Außerdem wird aber noch eine Führung entlang des Leiters F eintreten. Wir müssen daher auch noch den zweiten Weg $Q \rightarrow 1 \rightarrow F \rightarrow E$ berücksichtigen. Die gesamte Feldstärke im

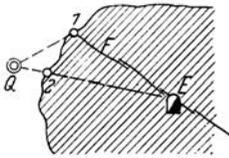


Abb. 7. Eindringen des Feldes ins Gebirge

Punkte E setzt sich somit aus zwei Teilfeldstärken zusammen, die wegen der verschiedenen Länge der beiden Wege gegeneinander phasenverschoben sind. Man nennt den Anteil, der über 1 zum Aufpunkt gelangt ist, auch die „umlaufende Welle“.

Die Entfernungen $\overline{Q \rightarrow 1 \rightarrow E}$ oder $\overline{Q \rightarrow 2 \rightarrow E}$ nennt man die totale Länge.

Sie ist die Summe der sogenannten „leeren“ Länge $\overline{Q \rightarrow 1}$ oder $\overline{Q \rightarrow 2}$ und des Verschnittes $\overline{1 \rightarrow E}$ oder $\overline{2 \rightarrow E}$.

Bei allen funkgeologischen Untersuchungen müssen wir immer beachten, daß der Verlauf des Quellweges innerhalb des Gebirges nie bekannt ist, da er durch verborgene elektrische Diskontinuitäten und durch andere Faktoren beeinflusst wird. Man wird daher stets zu untersuchen haben, ob nicht umlaufende Wellen auftreten.

Es müssen auch solche Quellwege berücksichtigt werden, die durch Reflexion entstehen. Man wird in diesem Falle vorteilhafter Weise mit virtuellen Quellen Q^+ arbeiten, wie dies Abb. 8 zeigt.

Das Feld in E wird sich wieder aus zwei Teilfeldern zusammensetzen, von denen das eine entlang des strichpunktiierten Weges, das andere jedoch entlang des strichliert gezeichneten und an L reflektierten Weges fortschreiten wird. Die Entfernung $\overline{Q^+ \rightarrow 1}$ muß natürlich entsprechend dem Verhältnis der beiden Dielektrizitätskonstanten $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ gewählt werden.

Wir wollen uns nun eine Fläche denken, die die Quelle des Feldes umgibt und den Ort aller Punkte gleicher Feldstärke darstellt. Schneiden wir diese Fläche mit einer Ebene, die die Quelle enthält,

so erhalten wir eine Feldgleichung. Den Verlauf der Feldgleichungen stellt das Strahlungsdiagramm dar. Die Fläche kann natürlich verschieden gelegt werden. Im folgenden wollen wir sie aber stets durch die Äquatorialebene des Dipols darstellen. Im allseitig homogenen Raume wird das Strahlungsdiagramm eines einfachen Dipols bekanntlich ein Kreis sein. Unter dem Einfluß der verschiedenen Leiter im Feldraume wird dieses Diagramm jedoch deformiert werden. Wir unterscheiden praktisch zwischen dem „ursprünglichen“, dem

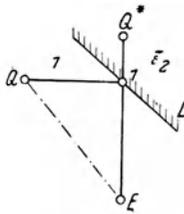


Abb. 8.
Reflexion eines Feldes

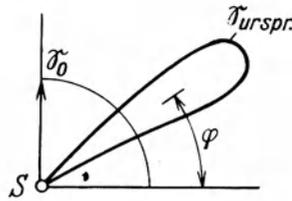


Abb. 9

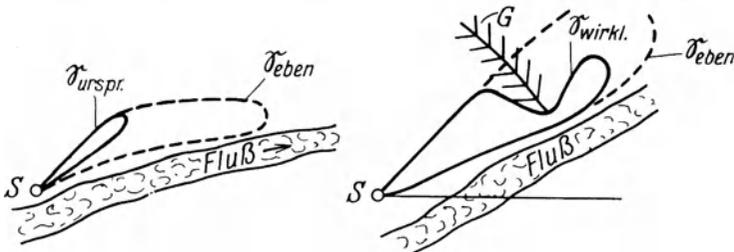


Abb. 9. Ursprüngliches ebenes und wirkliches Diagramm eines Senders

„ebenen“ und „wirklichen“ Diagramm. An einem Beispiel zeigt dies Abb. 9. Bei a sehen wir das ursprüngliche Diagramm.

Verlegen wir nun die Quelle des Feldes Q in die Nähe eines guten Leiters, z. B. eines Flußlaufes F , so tritt eine Deformation des Diagramms ein, wie sie bei b bezeichnet ist. Die Länge der einzelnen Quellwege ist bereits verschieden. In diesem Falle wird also die Ausbreitung an der Begrenzungsfläche zweier Räume untersucht, von denen der eine Luft, der andere aber geologische Leiter enthält. Ist diese Trennungsfäche eine Ebene, so erhalten wir das „ebene“ Diagramm. Nun wollen wir noch annehmen, daß von dem unteren Raume geologische Leiter in den oberen hineinragen. Als

solche kommen etwa ein Gebirge G in Betracht. Bei c ist dann die neuerliche Deformation des Diagramms eingezeichnet. Das Ergebnis ist das „wirkliche“ Diagramm.

Bei der Ausbreitung eines Hertzschen Feldes handelt es sich immer um einen Energietransport. Die Feldenergie gelangt aus dem Ausgangsraum über einen oder mehrere Quellwege in den Zielraum. Während dieses Energietransportes erfolgt gleichzeitig auch eine Transformation der Energie in andere Energieformen, die praktisch als Verluste in Erscheinung treten. Dadurch kommt eine Schwächung des Feldes zustande. Bei funkgeologischen Untersuchungen müssen wir aber zwischen wirklicher und scheinbarer Schwächung unterscheiden. Die wirkliche Schwächung kommt dadurch zustande, daß die Feldenergie in andere Formen, insbesondere in Wärme umgewandelt wird. Sie hat also einen Transformationsgang zur Voraussetzung. Die scheinbare Schwächung dagegen ist dadurch bedingt, daß es sich hier um zeitlich veränderliche Vorgänge handelt. Gelangen z. B. zwei Feldanteile über verschieden lange Wege zum Aufpunkt, so können Interferenzen zustande kommen, die eine vorübergehende oder ständige Schwächung des Feldes bedingen. Um solche Erscheinungen sicher zu erkennen, sind mitunter besondere Messungen erforderlich.

Allgemein ist zu beachten, daß sowohl die wirklichen als auch die scheinbaren Verluste von der Frequenz und anderen Faktoren abhängig sind. Diese Abhängigkeit kann mitunter für einen bestimmten geologischen Leiter charakteristisch sein.

5. Antennen

Den Antennen ist eine bestimmte Kapazität C_a , Selbstinduktion L_a , ein Strahlwiderstand R_s , ein Verlustwiderstand R_v und eine Eigenwelle λ_a zugeteilt. Wir unterscheiden statische und dynamische Eigenschaften. Aus den statischen kann man, wenn die Wellenlänge und die Dimensionen bekannt sind, die dynamische Kapazität C_{ad} und dynamische Selbstinduktion L_{ad} berechnen. Bei jeder Wellenlänge sind sie verschieden. λ_a ist aus C_a und L_a zu berechnen:

$$\lambda_a = f 2 \pi \sqrt{C_a L_a},$$

wobei f ein Korrekturglied darstellt, das den nicht quasistationären Voraussetzungen Rechnung trägt. Die geometrische Antennenhöhe h_a und die elektrische h_{aw} sind folgendermaßen bestimmt:

$$h_{aw} = \zeta h_a.$$

ζ ist die Formziffer. In unseren Fällen wird ζ z. B. bei unterirdischen Antennen ganz andere Werte erlangen, als sonst in der Radiotechnik angenommen wird. Im allgemeinen sind heute die Eigenschaften der Antenne ausreichend erforscht. In der funkgeologischen Technik muß man aber auf Besonderheiten Rücksicht nehmen, wie z. B. die folgenden:

1. Die statischen Eigenschaften niedrig verspannter langer Antennen sind unter dem Einfluß des Untergrundes nicht in allen Punkten gleich. Die Antenne ist daher vorteilhaft durch Kettenleiter zu ersetzen, deren einzelne Glieder den funkgeologischen Voraussetzungen anzupassen sind.
2. Der Begriff der wirksamen Antennenhöhe darf bei Antennen, die unter Tags verlegt werden, nicht im üblichen Sinne aufgefaßt werden.
3. Die Feldinduktion in der nächsten Umgebung des Luftleiters ist bei Antennen in der Nähe geologischer Leiter, besonders aber bei Luftleitern, die unter Tags z. B. in Strecken verspannt werden, von wesentlichem Einfluß und daher besonders zu berücksichtigen.
4. Der Begriff „Erdung“ existiert in der Funkgeologie im allgemein gültigen Sinne überhaupt nicht.
5. Auch bei Gegengewichten ist dem funkgeologischen Aufbau des Untergrundes Beachtung zu schenken.

Wir unterscheiden symmetrische und asymmetrische Antennen nach dem Punkte, in dem die Abstimmittel eingebaut sind. Elektrische Symmetrie muß nicht immer mit geometrischer übereinstimmen. Unter Tags sind auch die Grenzen zwischen beschwerten Antennen (mit Endkapazität) und unbeschwerten oft nicht klar ausgeprägt. Im folgenden seien einige wichtige Arten kurz beschrieben.

a) Einfacher Dipol (Abb. 10).

Es sei:

$$d_2 = f' \frac{\lambda}{4}.$$

d_1 soll entweder sehr kurz oder $n \cdot f'' \frac{\lambda}{2}$ sein ($n = \text{ganzzahlig}$).

($f' \dots f'' \dots$ Koeffizienten, die vom funkgeologischen Aufbau des umgebenden Gebirges abhängig sind.)

Bei den Punkten A und B sind eventuell Abstimmittel einzubauen, um die elektrische Symmetrie herstellen zu können.

b) Unsymmetrischer Dipol (Abb. 11).

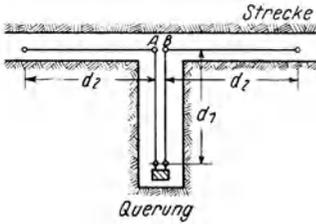


Abb. 10. Antennenanordnung

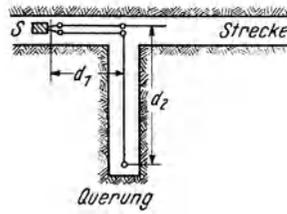


Abb. 11. Antennenanordnung

Die Leitung d_1 hat den Zweck, die Apparatur aus dem Antennenfeld zu entfernen.

$$d_1 = f' n \frac{\lambda}{2} \quad (n = \text{ganzzahlig!}),$$

$$d_2 \sim f'' \frac{\lambda}{2}.$$

Wichtig ist der Neigungswinkel χ gegen jene Fläche, die die „elektrische Erde“ darstellt.

Also

$$\sin \chi = \frac{\Delta x_f}{\Delta l}$$

(x_f entspricht der noch zu besprechenden „fiktiven Teufe“).

Durch die Antenne wird ein Hertzches Feld erzeugt, das schon früher beschrieben wurde. Bei den für uns in Betracht kommenden Messungen werden wir es in erster Linie mit dem Zwischenfeld und Fernfeld zu tun haben.

$$\mathfrak{E}^{\text{Volt/m}} = 60 J_a^{\text{Amp}} h a_w^m \left[j \frac{1}{r^2} - \frac{2}{\lambda^m} \frac{1}{r} \right],$$

$$\mathfrak{H}^{\text{Gauß}} = \frac{J_a^{\text{Amp}} h a_w^m}{500} \left[j \frac{1}{r^3} - \frac{2}{\lambda^m} \frac{1}{r} \right].$$

$r \dots$ Abstand vom Sender in m . $J_a \dots$ Strom in der Sendeantenne.

Wird die Empfangsantenne in der Nähe des Senders aufgestellt, so bedingt sie unter Umständen selbst eine bedeutende Feldverzerrung. Die durch sie bedingte Deformation ist vor allem von ihrer abgestimmten Eigenwelle abhängig. Die Deformation des Nah- und Zwischenfeldes wurde u. a. auch von Zickendraht¹⁾ besprochen. In Abb. 12 ist die Deformation durch einen Häuserblock dargestellt.

Die Beachtung dieser Deformation wird bei der Behandlung von funkgeologischen Problemen nötig, wenn man z. B. aus der Feldverteilung auf die elek-

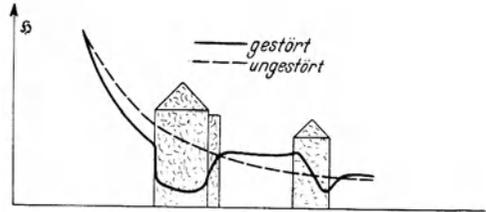


Abb. 12. Störung des Feldes durch Häuser

trischen Eigenschaften des Untergrundes in Großstädten schließen will. Von größter Wichtigkeit sind sie aber in der Funkmutung.

Im Fernfelde erhalten wir für die elektrische Feldstärke auf Grund der Untersuchungen Sommerfelds

$$\mathfrak{E} = 120 \pi J_a h_a \frac{1}{\lambda r} e^{-\frac{0,0019 r}{\sqrt{\lambda}}} \text{ Volt/Meter,}$$

oder nach Austin und Barkhausen auf Grund von Versuchen

$$\mathfrak{E} = 120 \pi J_a h_a \frac{1}{\lambda r} e^{-\frac{0,6015 r}{\sqrt{\lambda}}} \text{ Volt/Meter.}$$

In beiden Gleichungen sind lediglich die Exponentialausdrücke verschieden. Diese sollen den Einfluß der Erdoberfläche berücksichtigen. Heute sind beide bei Messungen zu Lande wohl überholt und durch die neueren Erkenntnisse der Funkgeologie zu ersetzen. An ihre Stelle tritt ein in der Regel innerhalb einer Zehnerpotenz variabler Faktor, der aber auch größeren Schwankungen unterliegt. Auch die Faktoren, die die Erdkrümmung berücksichtigen sollen, sind unbefriedigend, weil sie die Beugung der Bodenwelle durch verschiedene Faktoren nicht ausreichend berücksichtigen.

¹⁾ Acta Helvetica physica 5, 3 (1932).

Schneiden wir die Fläche, die der Ort aller Punkte gleicher Feldstärke ist, mit einer Ebene, so erhalten wir die schon besprochenen Feldgleichungen. Uns interessiert besonders das Horizontal- und Vertikaldiagramm einer Antenne. Jenes erhalten wir, wenn die schneidende Ebene senkrecht zur Antennenachse durch deren Äquator geht, während die andere Ebene die Antennenachse selbst enthält. Als Reichweitendiagramme bezeichnen wir die Diagramme für jene Feldstärken, die nach der Reichweitengleichung näher bestimmt sind. Zur praktischen Ausmessung von Antennenfeldern werden über Tags mit Vorteil Meßflugzeuge verwendet.

Um Antennen, deren geometrische Dimensionen nicht immer geändert werden können, den elektrischen Verhältnissen anzupassen, ist es nötig, Abstimmittel einzubauen. Diese können entweder symmetrisch oder asymmetrisch eingeschaltet werden. Für den für uns wichtigen Fall der asymmetrischen Einschaltung liegen eingehende Untersuchungen von Siegel vor¹⁾.

Treffen die für den quasistationären Fall vorgeschriebenen Bedingungen nicht ein, so erfahren die bereits angegebenen Formeln eine wesentliche Komplikation. Uns wird im folgenden besonders die Antennenkapazität interessieren. Ist C_{as} die bisher besprochene statische Kapazität, so erhält man nach Behnken die wirksame („dynamische“) Kapazität C_{ad} ,

$$C_{ad} = C_{as} \frac{\lambda' \sin 2\pi l/\lambda'}{2\pi},$$

wobei λ' die Wellenlänge entlang der Antenne darstellt und l die Antennenlänge bedeutet.

Wird die Antenne auf Eigenwelle erregt, so erhalten wir

$$C_{ad} = \frac{2}{\pi} l C_{as}.$$

Praktisch können also die Schwankungen ungefähr 30 % betragen.

Um genauere Anhaltspunkte in dieser Hinsicht zu gewinnen und gewisse unrichtige Voraussetzungen, die oft in der Literatur getroffen werden, zu korrigieren, hat Siegel die Antenne durch eine Doppelleitung ersetzt und dann die einzelnen Werte ermittelt. Er erhält für eine Eindrahtantenne

¹⁾ Hochfrequenztechnik 45, 51 (1935).

$$L_a = \frac{1}{4c^2 (\ln la/2 \varrho_a - 1 - 1/2 \ln la/\lambda)} 10^9 \text{ in Henry/cm,}$$

$$C_a = \frac{10^9}{4c^2 (\ln la/2 \varrho_a - 1 - 1/2 \ln la/\lambda)} \text{ in Farad/cm,}$$

sowie für

$$R_s \sim 30 \left[\frac{\pi}{2} \sin 2\pi \frac{la}{\lambda} + \left(\ln \frac{la}{\lambda} + 1,722 \right) \cos 2\pi \frac{la}{\lambda} + 2 \left(\ln \frac{la}{\lambda} + 2,415 \right) \right],$$

wobei la die Länge und ϱ_a der Durchmesser der Antenne ist.

Schließlich hat noch Gennosuke Hara eine weitere Korrektur angebracht, indem er den Einfluß der Oberwellen berücksichtigte. Er erhält einen Verkürzungsfaktor, der aber nur wenige Prozente beträgt.

Bei Antennen, die unter Tags verlegt werden, bestehen, wie schon erwähnt wurde, indessen ganz andere Voraussetzungen. Zunächst ist die wirksame Antennenhöhe durch andere als rein geometrische Gesichtspunkte bestimmt. Schon innerhalb eines Gebäudes schwankt sie, wie dies Dennhardt und Himmler gezeigt haben, innerhalb weiter Grenzen. Unter gleichen geometrischen Voraussetzungen erhielt man für die gleiche Anordnung folgende wirksame Antennenhöhen:

Dachboden 1,22 m,	Parterre 0,09 m,
II. Stock 0,14 m,	Keller 0,05 m.
I. Stock 0,12 m,	

In Gruben ist die wirksame Antennenhöhe von den verschiedensten Faktoren abhängig und wohl kaum zu berechnen. Das gleiche gilt auch für die Antennenkapazität, die fallweise nur durch Versuche ermittelt werden kann. Eine Anwendung der früher besprochenen Formeln führt hier oft zu ganz unrichtigen Ergebnissen.

Wie schon kurz erwähnt, wird das Antennenfeld deformiert, wenn in dieses Leiter treten, die als Sekundärstrahler in Betracht zu ziehen sind. In Abb. 13 ist bei a das ungestörte (primäre) Feld und bei b das Feld des Sekundärstrahlers dargestellt. Da diese beiden, wenn es sich bei den Sekundärstrahlern um gute Leiter

handelt, zueinander in Phasenopposition stehen, so erhält man das resultierende Feld durch Subtraktion der beiden Teilfelder.

Praktisch wird dieser Fall für uns in Betracht kommen, wenn wir z. B. Ausbreitungsmessungen unter Tags in Strecken durchführen. Der Sekundärstrahler kann in solchen Fällen durch gutleitende Traversen, feuchte Stempel oder Schienen dargestellt

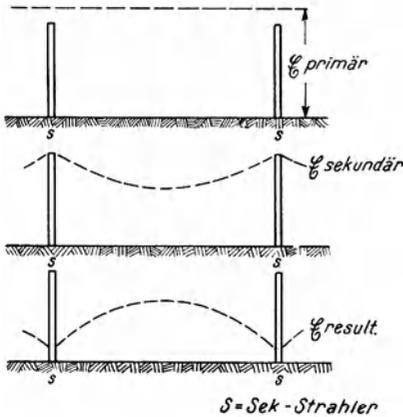


Abb. 13. Einfluß von Sekundärstrahlen

werden. Komplikationen sind zu erwarten, wenn der Sekundärstrahler ein Halbleiter ist, da dann nicht mehr die Voraussetzung der völligen Phasenopposition gilt. Als solche Sekundärstrahler können z. B. Flöze, Verwerfer und Gänge in Betracht kommen. Weitgehende Anwendung von Sekundärstrahlern wird bei Richtantennen gemacht.

Richtwirkungen an Antennen können beabsichtigt oder aber auch unbeabsichtigt auftreten, wenn in das Antennenfeld Leiter treten, die

entweder durch Leitungen oder durch Induktion auf entsprechende Frequenz erregt werden. In der Funkgeologie werden wir Richtantennen verwenden, wenn wir aus wirtschaftlichen Gründen eine möglichst starke Bündelung der Strahlung in einer bestimmten Richtung anstreben (z. B. beim Grubenfunk) oder aber wenn dies meßtechnisch nötig wird (z. B. bei der Funkmutung). Unbeabsichtigte Richtwirkungen treten auf, wenn Sekundärstrahler in Form von eisernen Traversen, feuchten Hölzern, Schienen oder aber auch durchfeuchteten Gebirgsschichten, in das Nahfeld treten. Man kann sie durch Anbringen zusätzlicher Hilfsstrahler oft eliminieren. Sind sie dagegen im Gebirge verborgen, so kann mitunter aus der Deformation des Strahldiagramms auf ihre Lage geschlossen werden. Im allgemeinen soll man Sendewellen vermeiden, durch die bekannte Leiter zu Eigenschwingungen angeregt werden könnten. Schon deshalb wird sich übrigens in kritischen Fällen mehrmalige Durchführung der Messung bei verschiedenen Frequenzen empfehlen.

Ein Beispiel des Strahldiagramms einer Richtantenne ist in Abb. 14 dargestellt. Aus diesem kann zu jedem Winkel α ein entsprechendes \mathfrak{E}_α gefunden werden. Als Richtwirkungsfaktor wird das Verhältnis

$$\frac{r^2 \pi}{\text{schraffierte Fläche}}$$

bezeichnet. Die Richtschärfe ist durch $\frac{\partial \mathfrak{E}_\alpha}{\partial \alpha}$, bzw. in den Extremwerten durch $\frac{\partial^2 \mathfrak{E}_\alpha}{\partial \alpha^2}$ bestimmt.

Ein einfaches graphisches Verfahren zur Ermittlung des Diagramms hat Berndt angegeben. Weitere wichtige Arbeiten sind u. a. in dem Referat von Ochsmann und Rein zusammengestellt.

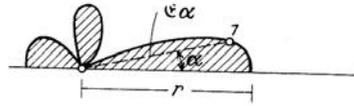


Abb. 14. Diagramm einer gerichteten Antenne

6. Ersatzschemas

In der Funkgeologie haben wir es in der Regel mit Leitern zu tun, deren geologisch-mineralogische Eigenschaften bekannt sind. Um nun auf solche Leiter die Grundsätze der Funkphysik anwenden zu können, ist es notwendig, sie elektrisch eindeutig zu bezeichnen. Wir ersetzen daher den geologisch beschriebenen Leiter durch den

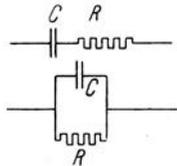


Abb. 15. Ersatzschema für einen geologischen Leiter

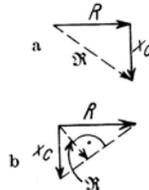


Abb. 16. Vektordiagramme für geologische Leiter

elektrisch eindeutig bestimmten und bilden so das sogenannte Ersatzschema. Wir müssen also festhalten, daß die geologische und die elektrische Bestimmung nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgt. Geologisch ganz verschiedene Leiter können durch das gleiche Ersatzschema dargestellt werden, und andererseits kann der gleiche geologische Leiter unter verschiedenen Voraussetzungen

durch ganz verschiedene Ersatzschemen dargestellt werden. Wir werden mit solchen Ersatzschemen oft arbeiten müssen. Daher sei an dieser Stelle die Frage kurz behandelt.

In den geologischen Leitern fließen in der Regel Leitungs- und Verschiebungsströme. Das Ersatzschema enthält somit einen Ohmschen Widerstand R und eine Kapazität C . Diese beiden können wie Abb. 15 zeigt, in Reihe oder parallel geschaltet sein. Im allgemeinen ist der Ersatz durch parallel geschaltete Elemente zweckmäßiger. Reihenschaltung wird man vor allem dann anwenden, wenn es sich um geschichtete geologische Leiter handelt, deren einzelne Schichten abwechselnd aus Leitern und Nichtleitern bestehen.

Die Zusammensetzung der beiden Widerstände zeigt Abb. 16. Es bedeutet R den Ohmschen, X_C den kapazitiven und \mathfrak{R} den resultierenden Widerstand. Bei a sind die Verhältnisse für Reihenschaltung und bei b für Parallelschaltung gezeichnet.

Eine induktive Komponente tritt nur sehr selten auf und wird in der Regel zu vernachlässigen sein. Das Ersatzschema ist natürlich zunächst von den elektrischen Eigenschaften und der elektrischen Struktur der geologischen Leiter abhängig. Von größter Bedeutung ist weiter die gegenseitige Lage der Teilleiter und ihre Orientierung zur Stromrichtung oder zum Quellweg. Insbesondere muß bei geschieferten geologischen Leitern beachtet werden, daß das Ersatzschema eine Funktion des Winkels wird, den die Schieferungsachse mit der Stromrichtung oder dem Quellwege einschließt. In diesem Falle wird nicht nur die kapazitive, sondern auch die rein Ohmsche Komponente Veränderungen erfahren.

Von großer Bedeutung ist schließlich auch noch der Einfluß der Frequenz. Besonders in der Funkgeologie muß man darauf achten, daß ein Ersatzschema nur bei einer ganz bestimmten Frequenz richtig ist.

7. Allgemeine Gesichtspunkte für die Vornahme funkphysikalischer Messungen

Wir werden bei der Besprechung der einzelnen Meßmethoden noch Gelegenheit haben, jene Besonderheiten kennenzulernen, die bei allen Untersuchungen mittels Hochfrequenz in Betracht kommen. Zunächst sollen einige allgemeine Bemerkungen vorweggenommen

werden. So ist z. B. zu beachten, daß das Leiter- und das Strom-Volumen im allgemeinen einander nicht gleich sein werden. Infolge des Skineffektes dringt der Strom nur in eine mehr oder weniger mächtige oberflächliche Leiter-Schicht, was besonders bei geschichteten Leitern in Erscheinung tritt. Es gibt geologische Leiter, die aus einem Kerne und einem oberflächlichen Überzug bestehen, dessen elektrische Eigenschaften von jenen des Kernes verschieden sind. Eine Gleichstrommessung wird einen Widerstandswert ermitteln, der in erster Linie durch die Eigenschaften des Kernes bedingt ist. Bei Hochfrequenz jedoch wird der Strom vornehmlich in den Oberflächenschichten fließen; daher wird auch der Hochfrequenzwiderstand nunmehr besonders durch diese bestimmt. Weiter müssen wir beachten, daß sowohl der Ohmsche als auch der kapazitive Widerstand durch die Frequenz bestimmt ist. Der resultierende Widerstand und der Verlustwinkel werden dadurch auch zu einer oft sehr komplizierten Funktion der Frequenz. Aber nicht nur die elektrischen Eigenschaften, sondern auch der Verlauf der Feldgleichungen und der Quellwege sind frequenzbedingt. Wenn wir ein größeres Gebirgsvolumen funkgeologisch untersuchen, so müssen wir mitunter auch an die Möglichkeit denken, daß durch eine Änderung der Frequenz der Hauptquellweg verlagert wird, wodurch auch das Strahldiagramm des Senders deformiert wird. Wir müssen ferner berücksichtigen, daß durch eine Änderung der Frequenz Leiter in der Umgebung der Sendeantenne die Funktionen eines Sekundärstrahlers übernehmen können und dadurch das Diagramm verformen. Bei kürzeren Wellenlängen wird es oft schwer möglich, die Voraussetzungen für quasistationäre Verhältnisse zu erfüllen. In den geologischen Leitern ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Hertzschen Feldes in der Regel bedeutend kleiner als in Luft und daher auch die Wellenlänge kürzer als die in Luft gemessene. Quasistationäre Verhältnisse darf man bekanntlich dann annehmen, wenn die in Betracht kommenden geometrischen Entfernungen dem Viertel der Wellenlänge noch nicht vergleichbar sind. Da gerade dieser Betrag im Inneren eines Gebirges recht klein werden kann, so ist es durchaus möglich, daß bei einer bestimmten Wellenlänge in Luft quasistationäre, im Gebirge dagegen schon nichtquasistationäre Zustände auftreten. Schließlich ist noch zu bedenken, daß durch die Anwesenheit schlechter Leiter Phasenverschiebungen und Drehfeldkomponenten hervorgerufen werden können.

Beim Bau von Meßgeräten bedient man sich häufig der Schutz-
erdung, um insbesondere Einflüsse der Handkapazität auszuschneiden.
In der Funkgeologie müssen wir uns aber stets vor Augen halten,
daß der Begriff „Erdung“ jene Bedeutung verliert, die ihm sonst
in der Elektrotechnik zukommt. Aus diesem Grunde wird im allge-
meinen die Vornahme der Schutzerdung unmöglich, wodurch sich
beim Bau empfindlicher Meßgeräte mitunter keineswegs geringe
Schwierigkeiten ergeben.

C. Der geologische Leiter

Unter einem geologischen Leiter verstehen wir jedes Mineral-
korn, jede Mineralassoziation oder — im Sinne der Reichschen
Definition — jeden geologi-
schen Körper, der von elektri-
schen Strömen durchflossen
oder von einem Quellwege
durchsetzt wird.

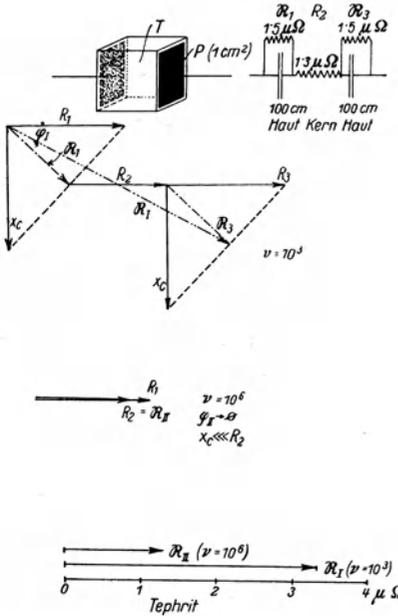


Abb. 17. Einfluß der Frequenz auf den komplexen Widerstand eines geologischen Leiters

1. Allgemeine Gesichtspunkte

Von geologischen Leitern erfüllte Räume enthalten in der Regel feste, flüssige und gasförmige Bestandteile. In elektrischer Hinsicht sind sie ein Gerüst aus Leitern erster und zweiter Klasse, in das dielektrische Bezirke eingelagert sind. Sie entsprechen daher einem komplexen Widerstand, in dem sowohl Leitungs- als auch Verschiebungsströme fließen. Wie schon erwähnt, ist die imaginäre Widerstandskomponente fast ausschließlich kapazitiver Natur.

Beim Stromdurchgang durch geologische Leiter treten unter bestimmten Voraussetzungen Effekte auf, die genau beachtet werden müssen. Der Skinneffekt wurde bereits erwähnt, ebenso die Ver-

änderung der elektrischen Eigenschaften durch die Frequenz. Oft besteht der geologische Leiter aus einzelnen Körnern, die mit einer schlechtleitenden Haut überzogen sind. Bei geringen Spannungen werden zwischen diesen daher sehr hohe Übergangswiderstände auftreten. Erhöht man die Spannung aber so weit, daß diese Überzüge durchschlagen werden, so geht der Widerstand plötzlich zurück (Fritteffekt). Oft wieder zeigt der geologische Leiter an seiner Oberfläche feuchte Schichten, die gut leiten. Bei zu hohen Stromstärken können diese aber verdampfen, und dadurch steigt dann der Widerstand plötzlich an (Trockeneffekt). In Abb. 17 ist der Einfluß der Frequenzänderung auf das Ersatzschema eines geologischen Leiters dargestellt.

Das Mineralkorn besteht oft wieder aus einem Kerne und einem elektrisch von diesem verschiedenen Überzug. Nach den Messungen von Perucca ist der Widerstand sehr dünner Häute wesentlich höher als durch Umrechnung des Widerstandes eines Zentimeterwürfels ermittelt würde.

Bei größeren Gebirgsvolumen ist für die elektrische Struktur vor allem die Tektonik von Bedeutung. Besonders bei geschieferten Leitern sind die elektrischen Eigenschaften je nach der Stromrichtung sehr verschieden.

2. Feste Bestandteile, auch ihr Verhalten unter verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten

Bei der Messung der elektrischen Eigenschaften fester Leiter ist es zunächst nötig, aus diesen auch den letzten Feuchtigkeitsrest zu entfernen, da schon geringe Spuren von Feuchtigkeit den Widerstand sprunghaft herabsetzen. In dieser Hinsicht wurde bei älteren Messungen vielfach ein prinzipieller Fehler begangen, der das ganze Meßergebnis wertlos macht. Im Anhang sind einige Tabellen zusammengestellt, die die elektrischen Eigenschaften geologischer Leiter verzeichnen. Eine größere Zahl von Messungen verdanken wir Loewy. Nach seinen Angaben beträgt der Widerstand der meisten festen Bestandteile mehrere Megohm je Raumzentimeter. Man kann diese also ruhig als Isolatoren bezeichnen. Die Dielektrizitätskonstante erlangt ebenfalls in der Regel keine höheren Werte als 15 bis 20. Ausnahmen von der Regel stellen einige wenige Erze dar. Im übrigen ist auch die Leitfähigkeit der meisten Erze

sehr gering. Oft weist sogar das Nebengestein eine höhere Leitfähigkeit auf. In Kotterbach z. B. stellt der trockene Spateisenstein im Gegensatz zur sonst üblichen Auffassung eine schlechtleitende Einlagerung in den besser leitenden Schiefer dar. Sobald aber Feuchtigkeit hinzutritt, ändern sich die Verhältnisse wesentlich.

Eine größere Zahl solcher Leiter haben u. a. Ambronn, Haalck, Koenigsberger, Reich und Fritsch untersucht. Zahlreiche Angaben finden sich insbesondere in der neueren Literatur der angewandten Geoelektrik vor. Das Eis ist im allgemeinen ein schlechter Leiter, wenn wir es im niederfrequenten Felde betrachten. Bei höheren Frequenzen aber nimmt seine Leitfähigkeit, wie dies besonders Granier und Wintsch gezeigt haben, rasch zu. In gleicher Weise wird der Widerstand schon durch geringe Verunreinigungen herabgesetzt. Oft sind Eisschichten mit ziemlich gutleitenden Wasserschichten überzogen. Aus diesem Grunde mußten auch z. B. Gletschervermessungen (siehe Stern) bei Nacht ausgeführt werden, wo diese Wasserschicht eingefroren war. Die Verhältnisse bei sehr hohen Frequenzen sind bis heute noch nicht völlig geklärt. Nach der Annahme des Verfassers zeigt der Widerstandsverlauf in Abhängigkeit von der Frequenz bei kurzer Wellenlänge Anomalien.

Auch die Kohle ist ein verhältnismäßig schlechter Leiter. Ihre Eigenschaften wurden u. a. von Koenigsberger, Specht und Ryschkewitsch untersucht. Der Widerstand ist auch vom Gasgehalt abhängig. Flöze, die zu Gasausbrüchen neigen, zeigen höhere Widerstandswerte als gasarme. Den Einfluß der Frequenz auf die Eigenschaften fester geologischer Leiter, der oft recht bedeutend sein kann, haben u. a. Curtis, Harvey, Kuehlewein, Pherson, Scott und Zickrick untersucht. Bei vielen festen geologischen Leitern zeigt die Widerstandskurve mehrere Extreme.

In Gruben müssen auch die elektrischen Eigenschaften des Grubenholzes berücksichtigt werden, da dieses oft zwischen die Meßapparatur und das zu vermessende Gebirge tritt. Untersuchungen haben Brake und Schuetze angestellt.

Die Bestimmung des Trockenwiderstandes bereitet im Laboratorium oft Schwierigkeiten. Eigentlich müßte durch Erwärmung und Exikation der letzte Feuchtigkeitsrest entfernt werden. Es ist aber sehr schwer zu bestimmen, wann dies der Fall ist, da der elektrische

Nachweis der Feuchtigkeit oft empfindlicher ist als jener durch Wägung. Aus diesem Grunde hat der Verfasser vorgeschlagen, den Trockenwiderstand so zu bestimmen, daß die betreffende Probe solange auf etwa 60° erhitzt wird, bis der Widerstandswert praktisch konstant bleibt.

3. Flüssige Bestandteile

Die elektrischen Eigenschaften der natürlichen geologischen Leiter sind in erster Linie durch die in ihnen enthaltenen wässrigen Lösungen bestimmt. Darüber hinaus haben wir es an flüssigen Bestandteilen auch noch mit Quecksilber und Ölen zu tun. Es ist natürlich unmöglich, an dieser Stelle alle jene Messungen anzuführen, die in den letzten Jahren unternommen wurden; es soll daher nur das Wesentliche zusammengefaßt werden. In dem Schrifttumsnachweis sind einige wichtige Arbeiten enthalten. Es sei besonders auf die größeren Sammelberichte von Henney, Horvath, Hummel, Nikuradse und Walden verwiesen, die sich teilweise mit den elektrischen Eigenschaften wässriger Lösungen überhaupt, teilweise mit den von solchen Lösungen durchtränkten geologischen Leitern befassen.

Das reine Wasser ist bekanntlich ein Nichtleiter. Geringe Lösungszusätze setzen aber seine Leitfähigkeit sprunghaft hinauf. Die Leitfähigkeit der Lösungen, die in geologischen Leitern enthalten sind, ist vornehmlich durch folgende Faktoren bestimmt:

- a) Konzentration der Lösung und alle Einflüsse, die diese verändern.
- b) Elektrische Eigenschaften des Lösungsminerals.
- c) Durchfeuchtungsgrad. Dieser wird vorteilhafterweise in mg Lösungsgehalt je Raumzentimeter angegeben.

Der Einfluß der Temperatur über dem Gefrierpunkt auf den Widerstand und die DK kann innerhalb der praktisch in Betracht kommenden Temperaturgrenzen vernachlässigt werden. Untersuchungen in dieser Richtung haben u. a. Eversheim, Lattey — Davies und Linton — Maass unternommen. Auch der Einfluß des Druckes kann, wie die Versuche Ortveys und Roentgens beweisen, wenigstens in den oberen Schichten übersehen werden. Den größten Einfluß übt natürlich die Konzentration sowohl auf den

spezifischen Widerstand, als auch auf die DK aus. In erster Linie sind hierfür die grundlegenden Untersuchungen von Debye und

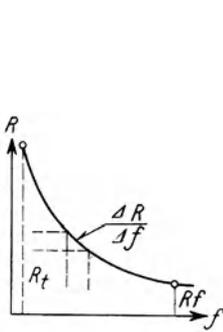


Abb. 18 a. Trockener und feuchter Widerstand

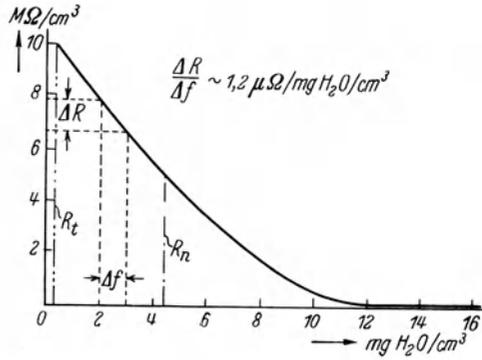


Abb. 18 b. Relative Widerstandsänderung

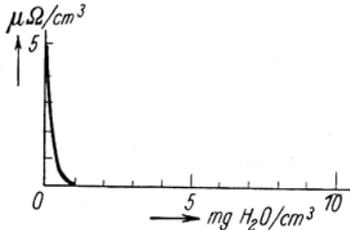


Abb. 18 c. Bakulitenmergel (in Kontakt mit Intrusivgestein)

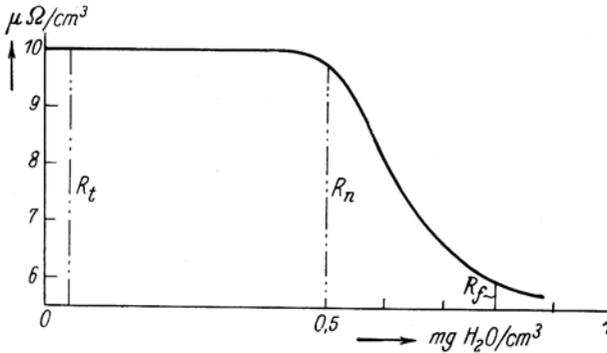


Abb. 18 d. Kalksandstein

Falkenhagen, weiter die Versuche von Beauvillain, Davies, Jeżewski, Kamecki, McKay, Lattey, Milicka, Slama, Wien und vielen anderen von Wichtigkeit.

Die DK wässriger Lösungen schwankt wenig um 80. Der Widerstand dieser Leiter dagegen kann innerhalb eines Bereiches von vielen Zehnerpotenzen schwanken.

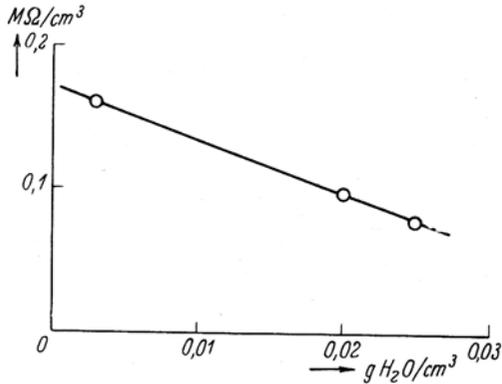


Abb. 18e. Haematit

Das Quecksilber ist bekanntlich ein Leiter erster Klasse und weist metallische Eigenschaften auf.

Über die elektrischen Eigenschaften der Öle existieren viele Arbeiten, die in der allgemeinen elektrotechnischen Fachliteratur

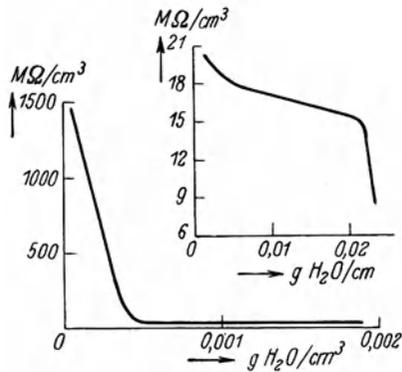


Abb. 18f. Verschiedene Lage der Diskontinuitätsstelle

veröffentlicht wurden. Zu erwähnen wären jene von Beck, Nikuradse, Rieche, Russischwilli, Vogler u. a. Natürliche Ölvorkommen sind nach Loewy durch einen hohen Widerstand und eine DK gekennzeichnet, die über jener des trockenen Gebirges liegt.

Da somit der Gesamtwiderstand eines geologischen Leiters vornehmlich durch den Gehalt an wässrigen Lösungen, überdies aber durch andere Faktoren, wie z. B. die Frequenz, bestimmt ist, so hat

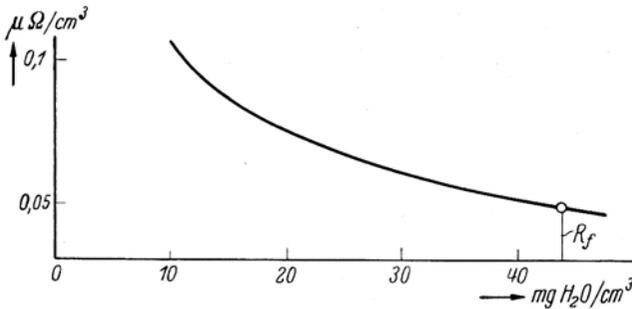


Abb. 18 g. Sandsteineinlagerung

es wenig Wert, irgend einem solchen Leiter einen einzigen Widerstandswert zuzuteilen, wie dies früher in der Fachliteratur fast stets geschah. Nach einem Vorschlage des Verfassers sollen für jeden

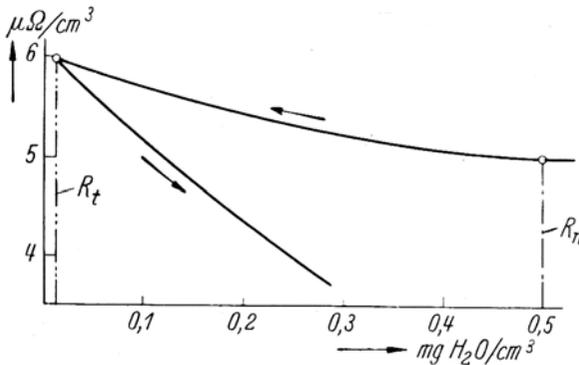


Abb. 19 a. Kalkiger Sandstein

solchen Leiter wenigstens drei Daten angegeben werden, nämlich: der „trockene“, der „feuchte“ Widerstand und die relative Widerstandsänderung. Die Bestimmung des ersten Wertes wurde schon besprochen. Will man den feuchten Widerstand messen, so muß man beachten, daß dieser eigentlich erst dann auftreten würde,

wenn alle Poren durchtränkt und überdies die Lösungen gesättigt wären. Da dies aus verschiedenen Gründen weder gut möglich wäre noch einen praktischen Wert hätte, so genügt es, einen Leiter so lange in Wasser einzulegen, bis sein Widerstand wieder einen praktisch konstanten Wert aufweist. Dies wird in der Regel nach

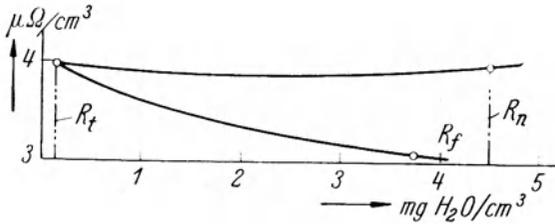


Abb. 19b. Kalktuff

einigen Stunden der Fall sein. In Abb. 18 sehen wir bei a) den normalen Verlauf der Durchfeuchtungskurve. R_t ist der feuchte, R_i der trockene Widerstand. Die relative Widerstandsänderung gibt die Steilheit der Kurve im steilsten Teile an. In Abb. 18 b usw. sind noch einige weitere Widerstandskurven gezeichnet und beschrieben. Im Anhang sind einige Werte zusammengestellt. Oft treten im Zuge

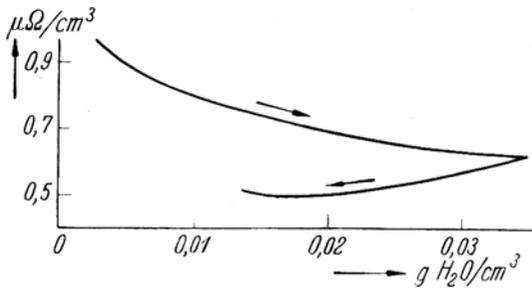


Abb. 19c. Schiefer

dieser Kurven auch Schleifen auf. Bei Erwärmung kann z. B. die Durchfeuchtung ab-, gleichzeitig aber die Konzentration des Restes zunehmen. Daher wird dann bei sinkender Durchfeuchtung der Widerstand entweder konstant oder aber sogar kleiner. In Abb. 19 sind eine Reihe solcher anormal verlaufender Kurven dargestellt. Die Durchfeuchtung der geologischen Leiter ist in den meisten Fällen bloß eine oberflächliche. Alles, was die Oberfläche ver-

größert, vergrößert daher auch gleichzeitig das lösungserfüllte Porenvolumen und damit die Gesamtleitfähigkeit. Unter gleichen

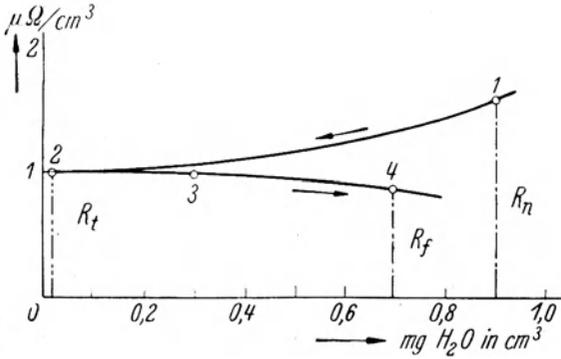


Abb. 19d. Nephelintephrit

Umständen wird daher loser Schotter eine größere Leitfähigkeit je Volumeinheit aufweisen als das gleiche Volumen kompakten

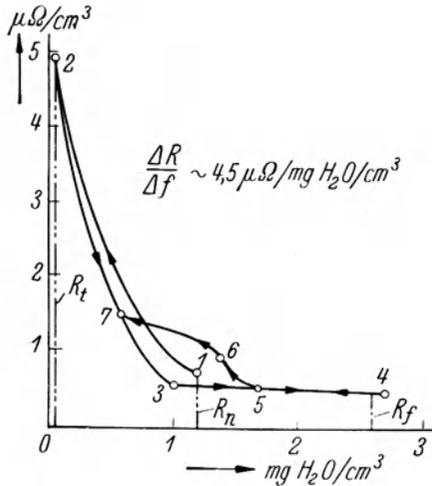


Abb. 19e. Zeolithisierter Tephrit

Gesteins. Ebenso erhöhen Spalten usw. die Leitfähigkeit eines Gebirges. Weitere Literatur in dieser Hinsicht findet sich bei Card, Gross, Masslova, Petrowsky, Smith-Rose, Schtschodro, Schulze u. a.

4. Gasförmige Bestandteile

Als gasförmiger Bestandteil geologischer Leiter kommt ausschließlich die Luft in Betracht. Diese ist selbst ein Nichtleiter, kann aber durch verschiedene Einflüsse ionisiert werden. Zu diesen zählen besonders die Sonnenstrahlung und verschiedene andere Strahlungen, wie z. B. die radioaktiven oder die Raumstrahlung. Man vermutet auch die Existenz einer Reihe von Strahlen, die bis heute noch nicht physikalisch nachgewiesen werden konnten. In diese Gruppe zählen auch die Erdstrahlen, die auf Grund gewisser biologischer Wirkungen angenommen, bis heute aber in keiner Weise nachgewiesen werden konnten.

Selbst stark ionisierte Luft liefert indessen keinen beachtlichen Beitrag zur Gesamtleitfähigkeit eines Volumens. Dagegen übt sie indirekte Wirkungen aus. Insbesondere wird durch radioaktive Strahlungen (Ambronn) die Vegetation und dadurch der Gehalt an gut leitenden organischen Lösungen der obersten Erdschicht beeinflusst. In dieser Hinsicht sind natürlich auch noch die Jahreszeit und viele andere Faktoren wichtig. In den letzten Jahren hat sich eine eigene Wissenschaft, die Radiobiologie, entwickelt, die aus den angeführten Gründen auch für die Funkgeologie von Bedeutung ist.

5. Die oberste Erdkruste als geologischer Leiter

In elektrischer Hinsicht setzt sich die oberste Erdkruste aus drei verschiedenen Zonen zusammen. Zu oberst liegt die Humusschicht, die durch hohe Leitfähigkeit und DK gekennzeichnet und homogen ist. Unter dieser haben wir es dann mit einer sehr inhomogenen Schicht zu tun, die bis zum tiefsten Grundwasserhorizont reicht. Unter diesem liegt dann ein absolut trockenes und daher nahezu nichtleitendes Gestein, das eine große Homogenität aufweist. Die Forschung hat die tiefer gelegenen Schichten bisher noch nicht unmittelbar erfaßt; man ist daher auf Hypothesen angewiesen. In den Abb. 20, 21 und 22 sind

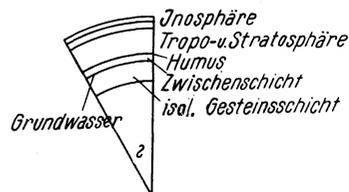


Abb. 20. Geoelektrisches Erdmodell

einige dieser Hypothesen, die auf Grund der heutigen Anschauungen der Geophysik entwickelt werden können, dargestellt.

In Wüstengebieten und in anderen regenarmen Zonen kann die oberste Erdkruste häufig als ein homogener, nichtleitender Körper angesehen werden.



Abb. 21. Diskontinuitätsflächen im Erdinnern

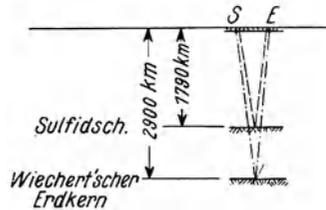


Abb. 22. Reflexionshypothese nach Loewy

Der Widerstand der Lösungen in der besprochenen zweiten Zone nimmt mit zunehmender Tiefe ab. Der Anfangswiderstand dieser Lösungen ist vornehmlich durch die Beschaffenheit der Oberflächenvegetation bedingt.

6. Ersatzschema für geologische Leiter

Schon an früherer Stelle wurde darauf hingewiesen, daß die Darstellung der elektrischen Eigenschaften eines geologischen Leiters wegen des Einflusses der zahlreichen variablen Faktoren mit Schwierigkeiten verbunden ist. Die einfachste Art der Darstellung, nämlich jene in Tabellenform, kann daher nur ein sehr oberflächliches Bild der tatsächlichen Verhältnisse vermitteln. Nach einem Vorschlage von Loewy kann man daher an Stelle der eindimensionalen eine zweidimensionale Darstellung wählen. Wie man in Abb. 23 sieht, zeigt diese sowohl die DK als auch die Leitfähigkeit des dargestellten Leiters. Nach einem Vorschlage des Verfassers kann man eine übersichtliche Darstellung der Eigenschaften des geologischen Leiters durch die Bildung von dreidimensionalen Diagrammkörpern vermitteln. In Abb. 24 ist ein solcher dargestellt. Auf den drei Achsen ist die Durchfeuchtung, der Widerstand und die Frequenz aufgetragen. Eine Unterscheidung zweier, durch Diagrammkörper dargestellten geologischen Leiter ist allgemein dann möglich, wenn

die beiden Diagrammkörper einander durchdringen. Ist dies nicht der Fall, hat also ein Diagrammkörper alle Raumpunkte mit denen

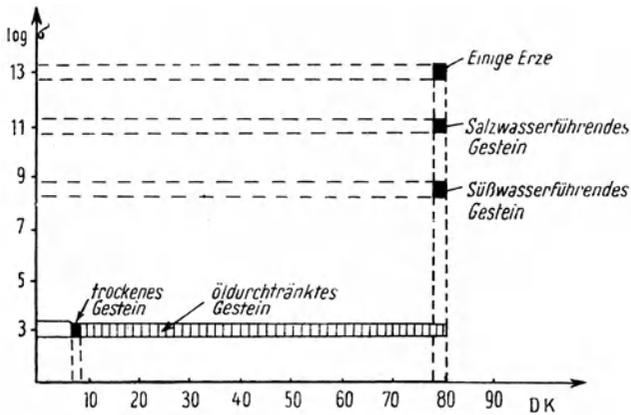


Abb. 23. Zweidimensionale Darstellung der Eigenschaften geologischer Leiter

des anderen gemeinsam, so ist eine Unterscheidung nur dann möglich, wenn die funktionelle Abhängigkeit des Widerstandes von einer der beiden variablen Größen bei beiden Leitern verschieden ist. Dies

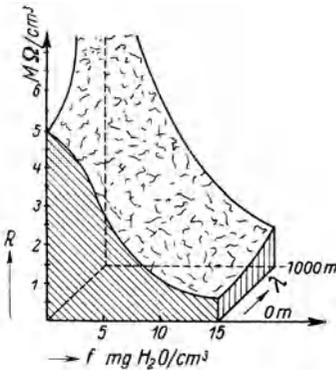


Abb. 24. Dreidimensionale Darstellung der Eigenschaften geologischer Leiter

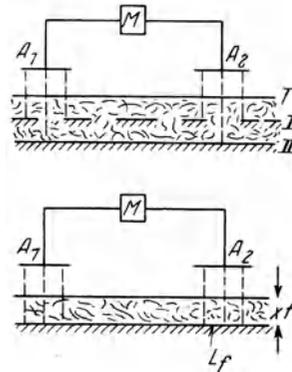


Abb. 25. Fiktiver Leiter und fiktive Teufe

wird dann der Fall sein, wenn die Form der Diagrammkörper voneinander abweicht.

Ein größeres, von geologischen Leitern erfülltes Volumen ist in den seltensten Fällen völlig homogen. Für uns wäre es nun aber

ganz unmöglich, diese kleinen Inhomogenitäten zu beachten. Wir ersetzen daher das tatsächlich gegebene Volumen durch ein fiktives, dessen Eigenschaften den Mittelwerten des tatsächlichen entsprechen. Wir bezeichnen solche Leiter als „äquivalente“ Leiter.

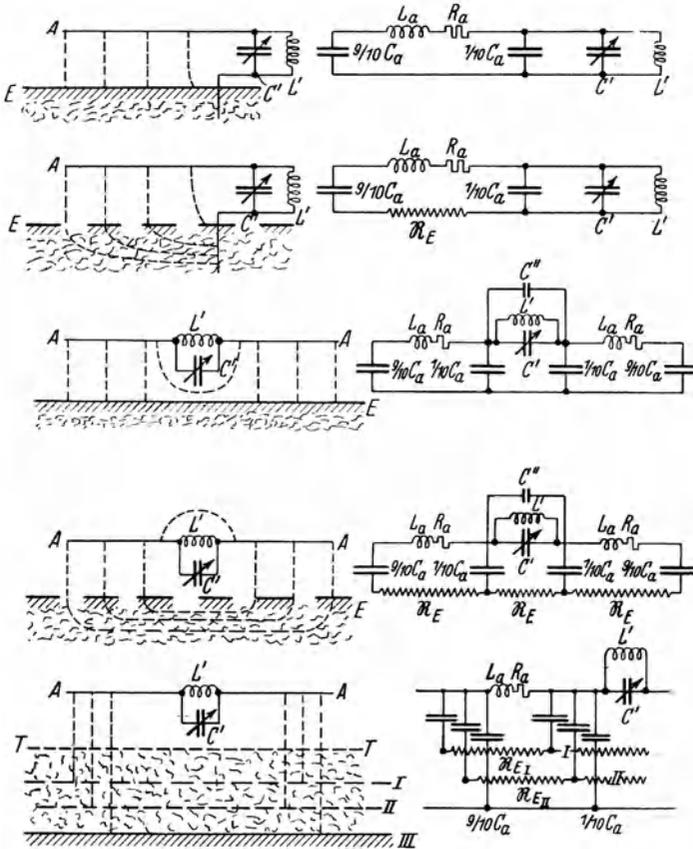


Abb. 26. Ersatzschemen für Antennen

Mitunter bedient man sich auch anderer Darstellungsweisen. In Abb. 25 sehen wir z. B. einen Untergrund dargestellt, in dem bei a zwei gute geologische Leiter I und II eingebettet sind. Über diesen Untergrund verspannen wir die beiden Antennen A_1 und A_2 , die mit dem Meßgerät M verbunden sind. Der Leiter I soll nun sieb-

Die Bestimmungsstücke eines Ersatzschemas sind natürlich weitgehend von jenen verändernden Faktoren abhängig, die wir zum Teil schon besprochen haben. Nach Hummel sind dies insbesondere

- a) das Widerstandsverhältnis der Bestandteile,
- b) das Raumverhältnis der Bestandteile,
- c) die Gleichberechtigung der Komponenten,
- d) die Gestalt der Bausteine,
- e) die Orientierung der Bausteine gegen die Stromrichtung.

Erzgänge und Salzvorkommen bedingen in der Regel gutleitende Lösungen und sind dann als gutleitende Einschlüsse aufzufassen.

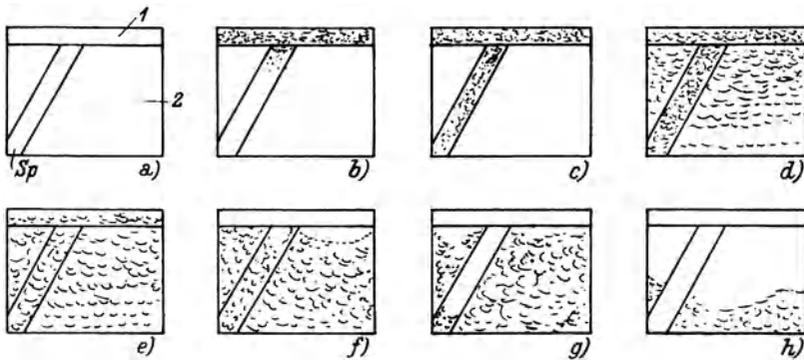


Abb. 28. Eindringen von Feuchtigkeit in eine Spalte *Sp*; (1 = Humus, 2 = festes Gestein)

Sonnenbestrahlung und Frost können das Ersatzschema innerhalb weiter Grenzen verändern. Es genügt häufig schon eine ganz kurzfristige Bestrahlung, um Veränderungen herbeizuführen, die zu mindestens beträchtliche Meßfehler verursachen können. Meteorologische Einflüsse sind allerdings in der Regel nur in den Oberflächenschichten bemerkbar. Gerade diese sind aber bei Messungen oft sehr wichtig. In einem von Spalten durchzogenen Gebirgsvolumen können sie aber auch noch in großen Teufen in Betracht kommen. In Abb. 28 ist die Durchfeuchtung und Austrocknung einer mit losem Schotter erfüllten Spalte in mehreren Stadien gezeigt. Es wird angenommen, daß der gezeichnete Teil eines Gebirges zuerst durch Regen durchfeuchtet und dann durch Sonnenstrahlung wieder ausgetrocknet wird. Man sieht, daß die elektrischen Unterschiede zwischen Spalte und Nebengestein in den ein-

zelen Stadien ganz verschieden sind. Bei besonders intensiver Sonnenbestrahlung kann der Feuchtigkeitsgehalt wohl zurückgehen, die Konzentration des verbleibenden Restes jedoch zunehmen. In diesem Falle kann der Widerstand bei eintretender Bestrahlung konstant bleiben oder abnehmen.

D. Ausbreitungslehre

Die Ausbreitungslehre kann eigentlich als der älteste Teil der Funkgeologie bezeichnet werden. Die hier in Betracht kommenden Probleme sind in einer großen Anzahl von einzelnen Arbeiten niedergelegt, so daß man sich hier darauf beschränken kann das Wesentlichste zusammenzufassen.

1. Feldstärkemessung und Felddiagnose

In der Funkgeologie handelt es sich in der Regel darum, aus dem durch Messung bestimmten Ausbreitungsdiagramm auf die

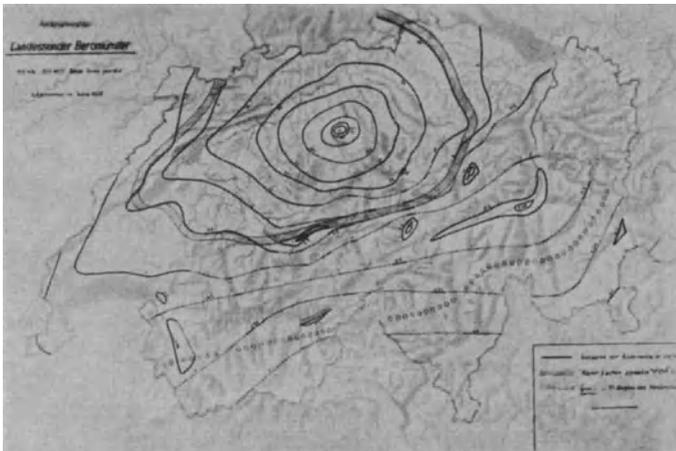


Abb. 29. Diagramm für den Sender Beromünster nach Gerber-Werthmüller

elektrischen Eigenschaften des Raumes zu schließen, in dem sich das Feld ausbreitet. Über die hier üblichen Meßverfahren soll nicht weiter gesprochen werden, da diese in jedem Handbuch der Funkphysik nachgeschlagen werden können. In der Regel werden ober

Tags Meßflugzeuge verwendet. In Abb. 29 sehen wir ein auf diese Weise aufgenommenes Ausbreitungsdiagramm, in dem der deformierende Einfluß von Gebirgen und Wasserflächen deutlich zu erkennen ist. Unter Tags kann das Ausbreitungsdiagramm nur schwer bestimmt werden. Man muß hier versuchen, durch Messungen in verfügbaren Strecken und in Sonden Unterlagen zu erhalten.

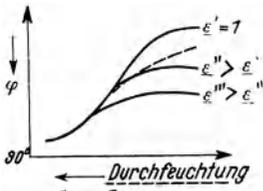


Abb. 30. Reichweitendiagramme

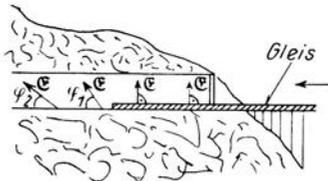


Abb. 31. Richtungsänderung der elektrischen Feldstärke

Liegt das Diagramm fertig vor, so muß es diagnostiziert werden. Die Felddiagnose muß

1. den Unterschied zwischen dem wirklichen, ebenen und ursprünglichen Diagramm feststellen;
2. jene Unterschiede feststellen, die durch bekannte Ursachen bedingt sind und somit
3. jene Deformationen ausscheiden, deren Ursache noch zu erklären ist und aus denen heraus die elektrischen Eigenschaften des untersuchten Raumes bestimmt werden sollen.

Über die wesentlichen Grundlagen der Ausbreitungslehren wurde schon in der Einleitung gesprochen. Es soll daher hier nur einiges nachgetragen werden. Nach den bekannten Untersuchungen von Hack, Sommerfeld und Zenneck ist die Richtung des Feldes, das an einer Trennfläche fortschreitet, bestimmt. Für uns sind diese Untersuchungen von großer praktischer Bedeutung. In Abb. 30 sehen wir ein Diagramm, das den Neigungswinkel des Feldes als Funktion der Leitfähigkeit und DK des Untergrundes darstellt. Tragen wir auf der Abszisse lediglich die Durchfeuchtung auf, so erhalten wir die strichliert eingezeichnete Kurve. Je schlechter der Boden leitet, desto größer wird die Neigung des Feldes sein. In der Praxis werden wir zu Zwecken der Funkmutung oft die Richtung des Feldes bestimmen. In diesem Falle wird es aber nötig, besonders bei Versuchen unter Tage, den Einfluß von anderen Leitern, z. B. von

Grubengleisen, Lutten usw. zu berücksichtigen. In Abb. 31 ist z. B. die Richtungsänderung eines Feldes gezeichnet, das in einer Strecke fortschreitet. Die Neigung ist übertrieben dargestellt, um den Einfluß des Grubengleises deutlicher zu zeigen. Auch wasserführende Verwerfer, die von der Strecke angequert werden, können ganz ähnliche Änderungen der Feldrichtung bedingen. Bleiben sie unberücksichtigt, so können leicht Fehldeutungen zustandekommen. In Abb. 32 ist schließlich das Ausbreitungsdiagramm über einen schräg einfallenden, gut leitendem Flöz dargestellt. Aus der Form des Diagramms kann man auf die Richtung des Einfallens schließen. Bei all diesen Messungen sind allerdings klar definierte Trennflächen eine Voraussetzung. Mitunter wird man sich bei der Berechnung mit fiktiven Leitern behelfen. Eine übersichtliche Zusammenfassung dieser Probleme hat insbesondere Strutt¹⁾ verfaßt.

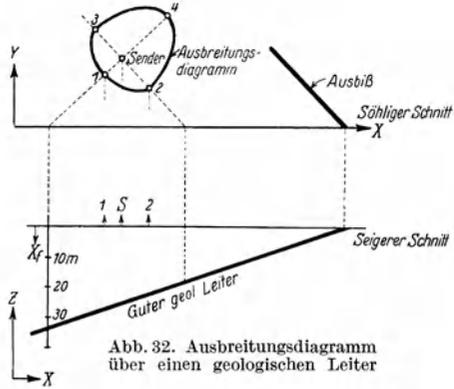


Abb. 32. Ausbreitungsdiagramm über einen geologischen Leiter

Besonders unter Tags müssen wir die Beugung und Reflexion des Feldes berücksichtigen. Schreitet (Abb. 33) ein Feld N gegen eine Dis-

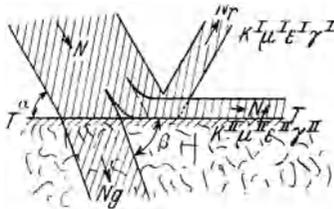


Abb. 33. Energiebilanz bei der Reflexion eines Feldes

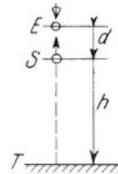


Abb. 34. Funktechnische Höhenbestimmung

kontinuitätsfläche T vor, die zwei elektrisch verschiedenartige Räume I und II voneinander trennt, so wird es in drei Teilfelder aufgespalten, und zwar in das reflektierte N_r , in das gebrochene N_g und in das

¹⁾ Hochfrequenz 39, 117 u. 220 (1932).

geführte N_f . Die Aufteilung der zugeführten Feldenergie auf die drei Teilfelder und die Richtungen, unter denen diese weiter fortschreiten, sind von der elektrischen Qualifikation der Fläche T und dem Winkel α , unter dem das Feld gegen diese Fläche einfällt, abhängig. Die Qualifikation der Trennfläche ist durch den Reflexionskoeffizienten bestimmt. Dieser ist von den Eigenschaften der angrenzenden Räume abhängig. Ist $\mu^I = 1$, $\varepsilon^I = 1$ und $\sigma^I = 0$, sowie $\mu^{II} = 1$, $\varepsilon^{II} = \varepsilon$ und $\sigma^{II} = \sigma$, so folgt daraus nach Petric der Modul des komplexen Reflexionskoeffizienten $\varrho' = k + ik'$, wobei

$$k = \frac{1 + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\sigma^2/\nu^2}}{1 + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\sigma^2/\nu^2} + \sqrt{2[\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\sigma^2/\nu^2}]}}$$

und

$$k' = \frac{\sqrt{2[\sqrt{\varepsilon^2 + 4\sigma^2/\nu^2}] - \varepsilon}}{1 + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\sigma^2/\nu^2} + \sqrt{2[\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\sigma^2/\nu^2}]}}$$

Zur Berechnung des entsprechenden Ausdrucks bedient man sich mit Vorteil graphischer Tafeln.

Befinden sich Sender und Empfänger, wie dies in Abb. 34 dargestellt ist, senkrecht über einer reflektierenden Fläche T , so wird das Feld in E

$$\mathfrak{E}_E \sim \mathfrak{E}_S \frac{1}{d} + \mathfrak{E}_S \frac{1}{2h + d} \varrho',$$

wenn das direkte und reflektierte Teilfeld gleichphasig sind. Daraus kann man dann ϱ' berechnen.

Bei der Behandlung komplizierterer Reflexionen und Beugungen bedient man sich fiktiver oder virtueller Quellen. In Abb. 35a wird z. B. das Feld zwischen I und A auf drei verschiedenen Wegen fortschreiten. Wir wollen nun den Weg $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$ näher untersuchen (Abb. 35b).

T bedeutet hierbei in beiden Abbildungen die Tagfläche, W etwa einen Grundwasserspiegel. Der Raum zwischen T und W soll mit ziemlich schlechten geologischen Leitern erfüllt sein. Das von I kommende Feld wird folgendermaßen aufgeteilt.

$$N_I = N_r + N_g + N_f.$$

N_g zerfällt wieder in folgender Weise:

$$N_g = N_{g(t)} + N_{g(r)} + N_a,$$

wobei N_a die gegen die Luft sehr großen Feldverluste berücksichtigt, die in den Leitern zwischen T und W immerhin auftreten. Nun wird aber auch noch $N_{g(r)}$ aufgeteilt.

$$N_{g(r)} = N_{[g(r)]f} + N_{[g(r)]g} + N'_a.$$

Im Aufpunkt A empfangen wir nun $N_{[g(r)]g}$ und eventuell bei bestimmten geometrischen Verhältnissen noch N_f und $N_{[g(r)]f}$ sowie N_r . Anstatt nun jedesmal den ganzen Strahlengang zu rechnen, wählt man virtuelle Quellen, z. B. I' , I'' , I''' , die man nach Koordinaten und Intensität festlegt. Hierbei setzt man allerdings homogene Mittel im ganzen Raume voraus. Das Feld im Aufpunkt erhält man dann durch Überlagerung der von den wirklichen und virtuellen

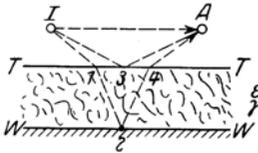


Abb. 35 a

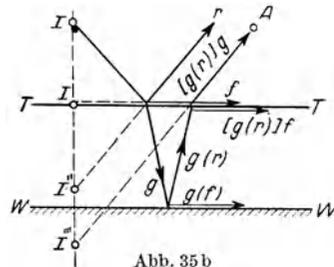


Abb. 35 b

Abb. 35 a und 35 b. Reflexionsprobleme

Quellen erzeugten Teilfelder. Grundlegende Untersuchungen in dieser Hinsicht verdanken wir Violet.

Will man die hier ausgeführten Konstruktionen durchführen, so sind natürlich geometrisch wohl bestimmte und elektrisch stark ausgeprägte Trennflächen nötig. In der Natur werden wir solche selten finden. Bei geologischen Leitern haben wir es in der Regel mit einer Schicht zu tun, innerhalb der ein allmählicher Übergang von den Eigenschaften des einen Leiters auf die Eigenschaften des anderen stattfindet. Mitunter weisen diese Schichten sogar Eigenschaften auf, die von denen beider anstoßender Leiter verschieden sind. Daher wird auch der Reflexionswinkel nie genau stimmen, es wird oft an die Stelle der Reflexion eine Beugung treten. Erhalten wir daher aus irgendwelchen Messungen Anhaltspunkte für die Existenz einer reflektierenden Schicht, so ist diese mit der Oberfläche eines fiktiven Leiters gleichzusetzen. Auf die wirklich vorhandenen kann dann in der Regel erst auf Grund weiterer geologisch-

flächen nach beiden Richtungen geführt. Der in die Tiefe geleitete Teil wird dann wieder in zwei Teilfelder aufgespalten, von denen das eine am verworfenen Trum fortschreitet. Daher können Verwerfer auch übermäßig starke Absorptionen vortäuschen, während in Wirklichkeit an dem starken Feldstärkerückgang die Energieaufteilung die Schuld trägt. Für die Behandlung solcher Probleme sind unter anderem die Arbeiten von Lord Rayleigh wichtig.

Die Verfahren der graphischen Felddiagnose hat insbesondere Devik näher behandelt.

Von weiteren Untersuchungen, die für die Behandlung dieser Fragen wichtig sind, seien insbesondere jene von Englund, Epstein, Niessen, Pederson, Smith-Rose, Strutt, Weyl u. a. genannt.

2. Ausbreitungsversuche unter und über Tags

Die rechnerische Ermittlung der Ausbreitungsverhältnisse unter Tags bereitet insbesondere bei kurzen Wellen bedeutende Schwierigkeiten. Man darf nicht übersehen, daß vor allem die Extinktion

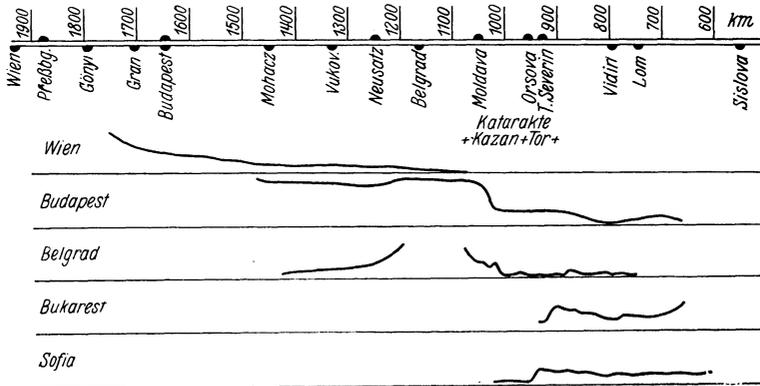


Abb. 38. Empfangsdiagramm der Donausender

eine sehr komplizierte Funktion der Frequenz ist und daß es daher sehr schwer ist, in die Rechnungen einen brauchbaren Wert einzusetzen. Es ist auch unrichtig, lediglich die Ausbreitung in einem von geologischen Leitern erfüllten Raume zu berechnen, da zweifellos ein großer Teil der Feldenergie entlang gutleitender wasserführender Spalten usw. in das Innere des Gebirges gelangt. Man ist daher in

erster Linie heute auf die Auswertung praktischer Versuchsergebnisse angewiesen, die freilich sehr oft unter nicht völlig geklärten Voraussetzungen stattfinden müssen. Die elektrische Struktur des durch-

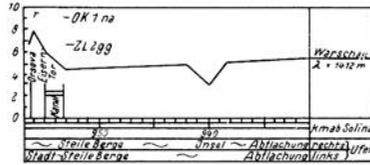


Abb. 39 a

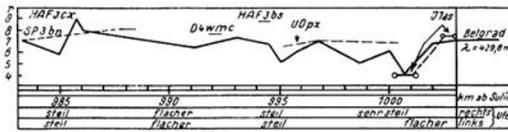


Abb. 39 b

Abb. 39 a und 39 b. Empfangsergebnisse in der Kataraktenstrecke der Donau

strahlten Gebirges ist ja in den meisten Fällen unbekannt und kann daher höchstens schätzungsweise berücksichtigt werden. Auch Ausbreitungsversuche über Tags bieten in dieser Hinsicht Schwierig-

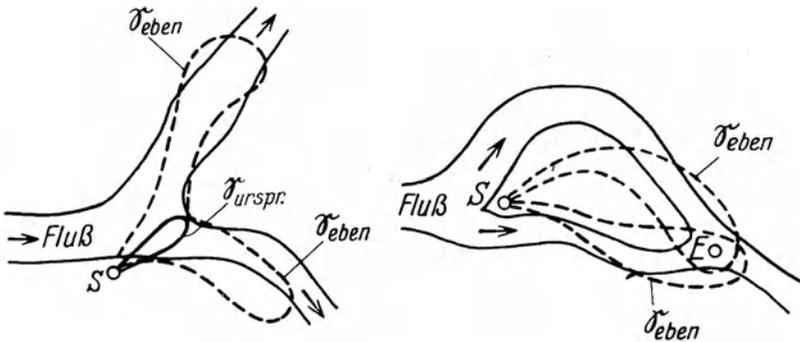


Abb. 40. Deformation eines Sanddiagrammes durch einen Grundwasserstrom (oberer Arm) und ein Oberflächenwasser

keiten, da in den meisten Fällen der genaue Verlauf des Quellweges nicht bekannt und auch die elektrische Struktur des Untergrundes in der Regel nur an wenigen Stellen erforscht ist. Man ist daher auch hier wieder vornehmlich auf Schätzungen angewiesen.

Ausbreitungsversuche über Tags wurden schon seit den ältesten Zeiten der Funktechnik unternommen. Insbesondere untersuchte man die Störung des normalen Telegraphenverkehrs durch Gebirge, Flußläufe und andere funkgeologische Besonderheiten. Der Einfluß von über- und untertägigen Wasservorkommen auf den Verlauf des Hauptquellweges wurde schon frühzeitig erkannt. So hat z. B. Anderle mit Rahmen Mißdeutungen bis zu 90° im Verkehr Wien—Budapest festgestellt, die durch die Ablenkung des Hauptquellweges entlang der Donau entstanden sind. In neuester Zeit wurden für viele Rundfunksender Diagramme aufgenommen, von denen besonders jene der Schweizer Postverwaltung sehr interessant sind. Sie zeigen sehr deutlich den deformierenden Einfluß von Wasserflächen und Gebirgen. Der Verfasser hat im Laufe der letzten Jahre Versuche auf der Donau unternommen, deren Ergebnisse in den Abb. 38 bis 41 auszugswise wiedergegeben sind. In Abb. 38 ist der Empfang der Rundfunksender entlang der Donaustrecke dargestellt. Man sieht ganz deutlich, daß die oberen Donausender unterhalb des eisernen Tores allgemein geschwächt werden. Es ist

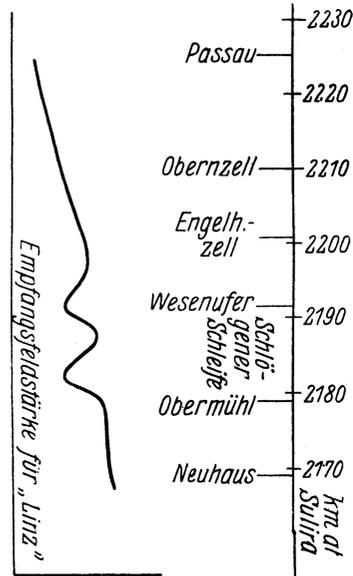


Abb. 41. Empfangsbeobachtungen in der Schlängenschleife der Donau

auf den stark absorbierenden Einfluß des Gebirges zurückzuführen, das im Kazan und Tor unmittelbar an das Stromufer tritt. Oberhalb dieser Engstrecke sind andererseits wieder die unteren Donausender stark geschwächt. In Abb. 39 sehen wir einen Ausschnitt aus den Empfangsbeobachtungen, in der bereits erwähnten Engstrecke des Kazans. Interessant ist die Tatsache, daß der Empfang auf kurzen Wellen regelmäßiger und günstiger ist als auf langen. In Abb. 40 sehen wir das Strahldiagramm eines Kurzwellensenders, der zu Versuchszwecken in Wallsee an der Donau errichtet wurde. Man sieht ganz deutlich, daß das Diagramm durch den Wasserlauf

verzerrt ist, daß aber auch andererseits (links) die größte Deformation nicht mit der Richtung der Stromachse zusammenfällt. Sie fällt vielmehr in die Richtung eines alten Donaulaufes, der seit Jahren abgesperrt ist. Da die Grundwässer heute noch diesen alten Lauf verfolgen dürften, so ist die Deformation offenbar durch diese Grundwässer bestimmt. Auch Urströme sind imstande die Strahldiagramme zu deformieren. In Abb. 41 sehen wir schließlich die Empfangsverhält-

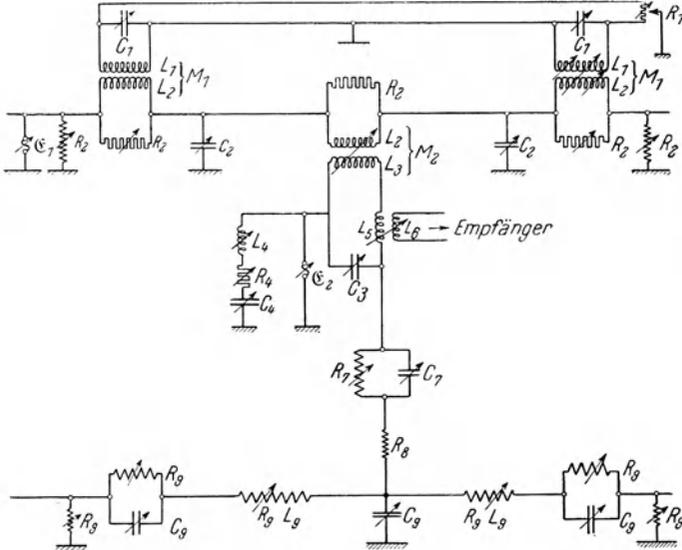


Abb. 42. Ersatzschema für einen Eisenbahnfunkempfänger

nisse in der bekannten Schlögener Schleife (zwischen Linz und Passau) für den Linzer Sender. Der Gebirgsschatten kommt hier sehr klar zum Ausdruck.

Ähnliche Verhältnisse wie auf Strömen und Flußläufen herrschen mitunter auch auf Eisenbahnstrecken. Auch hier tritt eine teilweise Führung der Wellen durch die neben dem Gleis verlegte Telegraphenstraße ein. In Abb. 42 sehen wir das Ersatzschema für die Antenne eines Versuchswagens unter Berücksichtigung aller Leiter, die entlang der Strecke verlegt sind oder sonst in Betracht kommen. \mathcal{E}_1 ist die in der Telegraphenleitung induzierte und \mathcal{E}_2 die in der Wagenantenne induzierte Spannung. Die mit dem Index 1 be-

zeichneten Größen beziehen sich auf die verschiedenen absorbierenden Leiter, die entlang der Strecke in Betracht kommen. Die zum Ersatzschema der Telegraphenleitung gehörigen Bestimmungsstücke sind mit dem Index 2 bezeichnet.

Die Bestimmungsstücke der Wagenantenne tragen den Index 3, jene des Ersatzschemas der im Nahfelde der Antenne gelegenen absorbierenden Leiter den Index 4. Dem Ersatzschema der Schienen ist der Index 9 zugeteilt. Die übrigen Indizes beziehen sich auf die Erdung, Übergangskapazitäten an der Lagerschale und die Abstimmelemente. In Abb. 43 sind die Ausbreitungsverhältnisse für die Sender Prag und Königswusterhausen dargestellt. Interessanterweise sind die

Schwankungen des Langwellensenders bedeutend größer als die der Rundfunkstation. Insbesondere wäre her-

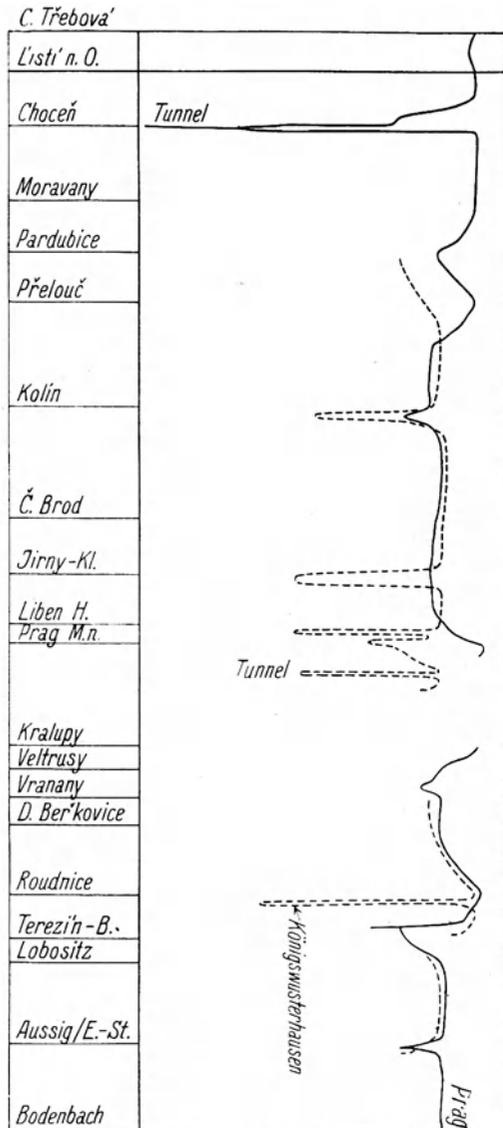


Abb. 43. Empfangsbeobachtungen auf der Strecke B. Trübau—Bodenbach

vorzuheben, daß im Zuge der Versuche, die der Verfasser auf tschechoslowakischen Staatsbahnen unternahm, in Tunnelstrecken auf kurzen Wellen Empfang möglich war.

An dieser Stelle sei schließlich noch darauf hingewiesen, daß in vielen älteren Publikationen, so z. B. in jenen von Austin,

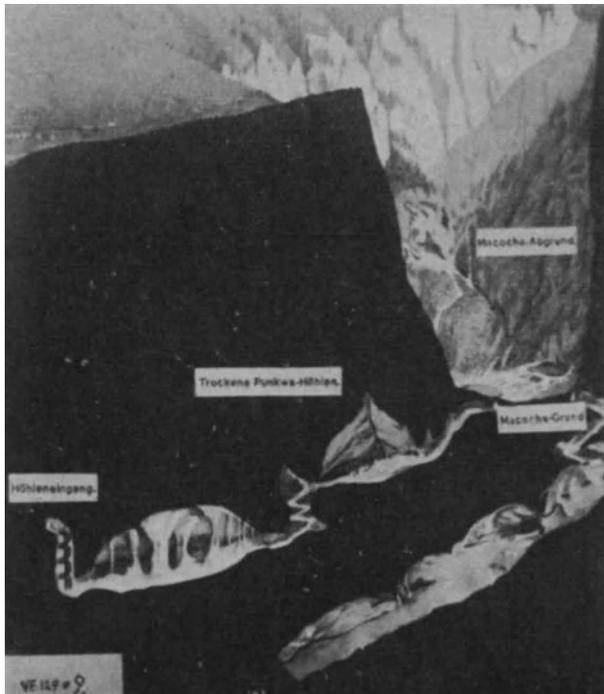
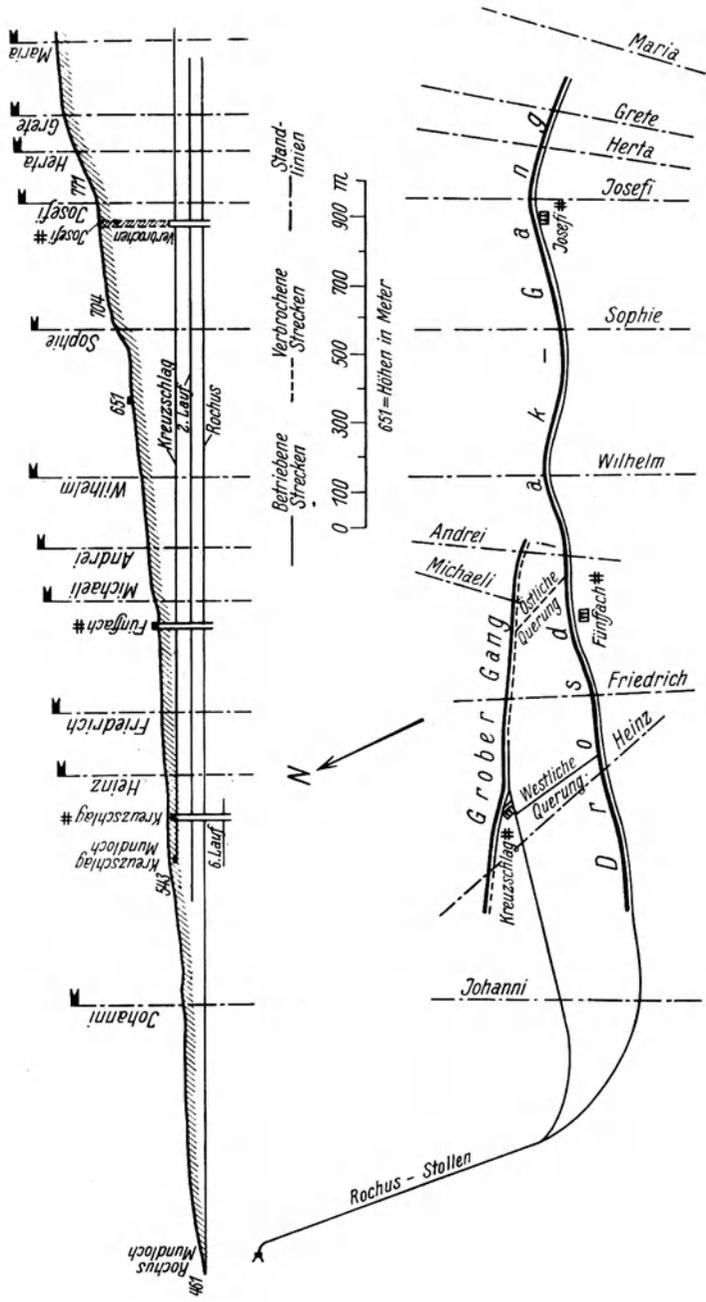


Abb. 44. Versuchsgelände Punkwahöhlen

Dudell, Taylor, Tissot u. a., manche wertvollen Aufschlüsse enthalten sind. Auch die neueren Versuche, wie z. B. jene von Esau, Marconi und Strutt bieten in funkgeologischer Hinsicht manche wertvollen Anhaltspunkte.

Früher nahm man allgemein an, daß unter der Erdoberfläche ein Funkverkehr auf größere Entfernungen unmöglich sei, da die Absorption durch das Gebirge zu groß sei. Es ist interessant, daß sich gerade dieser Fehlschluß mit beachtenswerter Hartnäckigkeit



Sohle Rochus

Abb. 45. Schnitt durch die Kottbacher Gruben

erhalten konnte. Daß das trockene Gebirge Eigenschaften aufweist, die durchaus an jene der technischen Isolatoren herankommen, war schließlich schon lange bekannt. Eine einfache Rechnung hätte gezeigt, daß in so schlechten Leitern recht beträchtliche Reichweiten möglich seien. Allerdings wird das Problem dort kompliziert, wo es sich um die Durchstrahlung von Schichten handelt, die Feuchtigkeit enthalten. Hier wirken die Führung entlang feuchter Schichten und die Absorption durch diese einander entgegen. Schon vor dem Kriege haben Loewy und Leimbach zahlreiche Versuche unternommen, um die Empfangsverhältnisse unter der Erdoberfläche zu studieren. Es gelang ihnen, Entfernungen über 1000 m mit Wellen von 700 m Länge zu überbrücken. Genauer wurden die Verhältnisse erst in den letzten Jahren studiert. Den ungünstigsten Extremfall stellt offenbar die Ausbreitung der elektrischen Wellen in Wasser dar, worüber insbesondere Brüne, allerdings nur mit ganz kurzen Wellen, Versuche angestellt hat. Immerhin zeigen diese, daß selbst in verhältnismäßig gut leitendem Wasser noch recht beträchtliche Reichweiten möglich seien. Für trockene und feuchte Gebirge wurden ähnliche Berechnungen von Doborzynski und Petrowsky aufgestellt. Die Reichweiten sind hier begreiflicherweise noch größer. Praktische Untersuchungen wurden in neuerer Zeit zunächst von Brown, Esau, Eve, Noack, Keith-Murray, Petrowsky, weiter in nordamerikanischen, englischen und deutschen Gruben angestellt. Eine Reihe weiterer Untersuchungen, deren Voraussetzungen dem Verfasser besonders bekannt sind, seien im folgenden besprochen.

In Abb. 44 sehen wir einen Schnitt durch die Punkwa-Höhlen bei Blansko in Mähren. Die Höhlen liegen 130 m tief im Devonkalk. Es gelang der Empfang der Sender Brünn, Budapest und Wien, und zwar konnte beobachtet werden, daß im Bereiche der Rundfunkwellen die Absorption mit der Frequenz zunimmt. Kurze Rundfunkwellen konnten überhaupt nicht aufgenommen werden. Interessanterweise gelang der Empfang ungarischer Amateursender auf dem 40-Meterband. Mit transportablen Geräten konnte konstatiert werden, daß die Absorption bis zu ungefähr 100 m Wellenlänge zunahm, unter diesem Wert aber mit fallender Wellenlänge wieder abnahm. Über ähnliche Ergebnisse berichtet auch Petrowsky und Doborzynski. Es besteht die Möglichkeit, verschiedenen geologischen Leitern charakteristische Absorptionskurven zuzuteilen.

In Abb. 45 ist ein Schnitt durch die Spateisensteingruben Kotterbach westlich von Kaschau dargestellt, in denen der Verfasser ebenfalls durch mehrere Jahre Versuche unternahm. In Teufen bis zu ungefähr

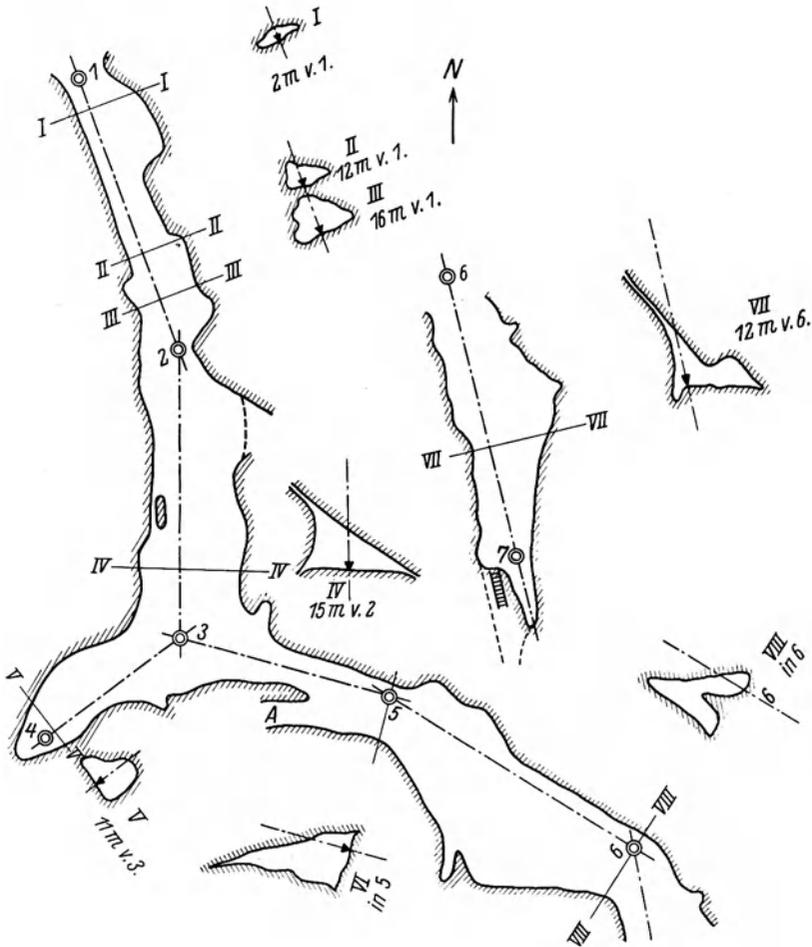


Abb. 46. Die Poračer Höhle

300 m gelang der Empfang der Sender Königswusterhausen, Warschau, Budapest, Wien, Prag, Oslo und München. Es war auch hier wieder interessant, daß der Empfang von Rundfunksendern auf

niedriger Welle nicht möglich war. Dagegen gelang in der Ungar-grube von Kotterbach und in der Poracer-Höhle, die östlich der Versuchsgruben liegt, der Empfang von Kurzwellensendern. Auch in Kotterbach ist somit der Empfang kurzer Wellen eher möglich als jener mittlerer. In Abb. 46 ist ein Schnitt durch die Poracer-Höhle gezeichnet, in deren Innerem zahlreiche Kurzwellensender auf dem 20-Meterbande gehört werden konnten.

Um die Ausbreitungsverhältnisse in tieferen Bergwerkschächten zu untersuchen, hat der Verfasser in der Grube Grünbach am Schnee-

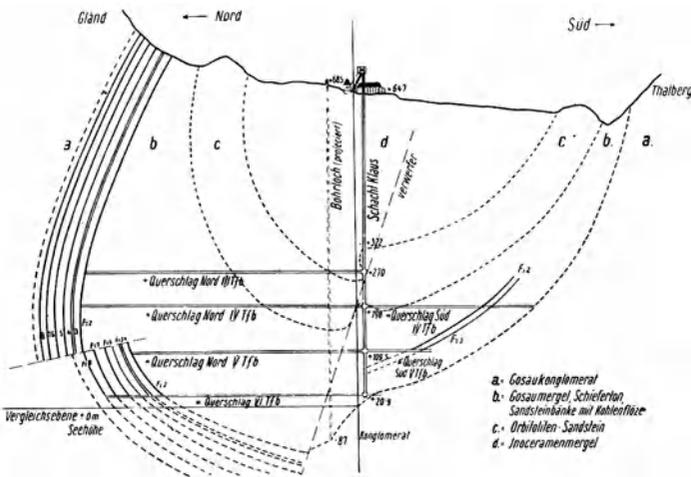


Abb. 47. Schnitt durch die Grünbacher Gruben

berg Versuche durchgeführt. In Abb. 47 ist ein Schnitt durch diese Grube dargestellt. Wichtig ist, daß der Schacht eine mächtige Verwerfung durchlöchert. Es ist ganz klar, daß die im Schachte verlegten Leiter, insbesondere aber die Förderseile, teilweise als Antennen wirken werden. Die Versuche zeigten nun, daß eine solche Antennenwirkung tatsächlich gegeben sei, daß sie aber nur auf die unmittelbare Umgebung des Schachtes eine Wirkung ausüben konnten. Für Empfänger, die nur wenige Meter vom Füllort entfernt wurden, war die Antennenwirkung des Förderseiles bereits ohne Einfluß. Wenn also in einer Grube Funkempfang obertägiger Sender möglich ist, so kann man in den meisten Fällen mit Sicherheit

annehmen, daß das Feld durch das Gebirge hindurch eingedrungen seien. Interessant war schließlich auch noch in Grünbach die Tatsache, daß an jener Stelle des Schachtes, an der dieser den Verwerfer löchert, der Empfang besser wurde. Um die Ausbreitungsverhältnisse in größeren Erzvolumen zu untersuchen, wurden unter Leitung des Verfassers am steirischen Erzberg Versuche gemacht. Es wurde festgestellt, daß Rundfunk- und Langwellen im Stande sind, Erzlagerstätten von weit über hundert Meter Mächtigkeit zu durchdringen. Die Führung der Felder entlang feuchter Schichten konnte auch hier beobachtet werden. Schließlich hat der Verfasser auch in dem Kohlenbergwerk Kirchbichl Versuche durchgeführt, die ähnliche Ergebnisse zeitigten.

Eine Reihe sehr interessanter Versuche hat Doborzynski in den Höhlen von Ojcow nördlich von Krakau unternommen. Es gelang ihm in diesen Höhlen, deren Karte Abb. 48 zeigt, der Empfang zahlreicher Rundfunksender auf kurzen Wellen. Unter 20 m konnten nur Telegraphensender in geringer Lautstärke wahrgenommen werden.



Abb. 48. Die Wierzychowska Höhle bei Krakau

Eine Reihe aufschlußreicher Versuche in Kohlengruben hat Stipanits unternommen. In Abb. 49 ist der Schnitt durch die Versuchsgruben in Schlesisch-Ostrau dargestellt. Das Karbon besteht aus wechsellagernden Schichten von Sandstein, Sandschiefer und Schiefer von recht verschiedener Mächtigkeit. Die Mächtigkeit der Flöze beträgt 40 bis 150 cm. An einigen Stellen ist sie auch noch größer. Für den Empfang ist auch eine Störung von Wichtigkeit, die in der Nähe des Schachtes ausgeht. Stipanits gelang der Empfang obertägiger Rundfunksender über 400 m Wellenlänge und Gegenverkehr auf dem Kurzwellenband.

Außer den hier angeführten Untersuchungen gibt es natürlich noch viele andere. Soweit man heute das Ergebnis aller dieser Ver-

suche übersehen kann, ergibt sich ungefähr folgende Zusammenfassung:

1. Untertägige Funkverbindungen sind auf größere Entfernung noch möglich.
2. Das trockene Gebirge ist als ein schlechter Leiter anzusprechen. Eingelagerte Erzgänge sind oft nur dann vom Nebengestein elektrisch unterschieden, wenn sie durchfeuchtet sind.
3. Die elektrischen Eigenschaften der Erdoberfläche und auch deren Vegetation sind für die Empfangsverhältnisse in der Tiefe von großer Wichtigkeit.
4. Auf die Ausbreitung der Felder im Gebirge sind insbesondere die Tektonik und die Hydrologie von Einfluß.
5. Der Einfluß der Frequenz auf die Ausbreitung der Felder ist sehr bedeutend und kompliziert.

3. Beeinflussung der Ausbreitung durch funkgeologische, meteorologische und andere Faktoren

In Abb. 50 soll S den Sender, E den Empfänger darstellen, die beide unter Tags angeordnet sind. Das von S erzeugte Feld schreitet dann über die Wege $\overline{1 \rightarrow 2}$, $\overline{3, 4 \rightarrow 5}$ und $\overline{6 \rightarrow 7}$ nach E vor. W bedeutet den Grundwasserspiegel. Von der Witterung sind nun zunächst die Durchfeuchtung des Leiters L (etwa eines Erzganges), weiter die Höhe des Grundwasserspiegels sowie die Durchfeuchtung der obersten Humusschicht abhängig. Dadurch werden auch die Felder, die entlang der Quellwege $\overline{1 \rightarrow 2}$, $\overline{4 \rightarrow 5}$ und $\overline{6 \rightarrow 7}$ fortschreiten, beeinflußt werden. Da der Einfluß der Witterung nun entlang der angeführten drei Quellwege ganz verschieden sein wird, so wird auch die Feldstärke verschiedene Schwankungen erfahren. Das in E durch Überlagerung zustande gekommene Feld wird daher infolge der Amplituden- und Phasenschwankungen weitgehende Veränderungen erfahren. Über den Einfluß des Frostes gehen heute noch die Meinungen auseinander. Wie schon erwähnt, ist das Eis bei niedrigen Frequenzen nahezu ein Nichtleiter, während sein Widerstand mit zunehmender Frequenz rasch sinkt. Es wird in der Literatur erwähnt, daß auch bei hohen Frequenzen durch Vereisung die Leitfähigkeit herabgesetzt werden konnte. Andererseits

wieder scheint bei vielen Versuchen eine Eisdecke als Abschirmung zu wirken.

Die Austrocknung und Durchfeuchtung verschiedener Schichten erfolgt in der Regel mit gewissen zeitlichen Phasenverschiebungen. Je nach der Lage der durchfeuchteten Leiter zum Hauptquellweg

werden sich Feuchtigkeitsveränderungen ganz verschieden äußern. Zwei Beispiele zeigen die Abb. 51 und 52. In diesen bedeutet *L* eine mit losem Schotter erfüllte Spalte, die wasserführend ist. In Abb. 51 liegen die beiden Punkte I und II, zwischen denen die Feldausbreitung erfolgt, auf der gleichen Seite der Spalte, in Abb. 52 dagegen auf verschiedenen Seiten. Nimmt nun bei Regen die Wasserführung dieser Spalte zu, so wird eine Verbesserung des Empfanges in II eintreten, da nun das Feld entlang des Quellweges 2 längs der Spalte geführt werden wird. In Abb. 51 sind zwei verschiedene Kurven *A* und *B* eingezeichnet. Die Kurve *A* werden wir erhalten, wenn das Wasser nur in die Spalte, nicht aber auch in das feste Gebirge eindringt. Dringt dagegen der Regen nach einiger Zeit auch in das feste Gestein ein, so wird die Absorption erhöht

und das Feld auf jenem Teilwege, der nicht entlang der Spalte verläuft, geschwächt werden. Wir erhalten dann die Kurve *B*. In Abb. 52 wird die Zunahme der Leitfähigkeit der Spalten auf jeden Fall mit einer Erhöhung der Absorption verbunden sein und dadurch in II die Empfangsfeldstärke zurückgehen. Dies zeigt die Kurve *C*.

Der Einfluß der Frequenz (in der Abb. mit ν bezeichnet) und der sogenannte Skineffekt wurden ebenfalls schon früher besprochen.

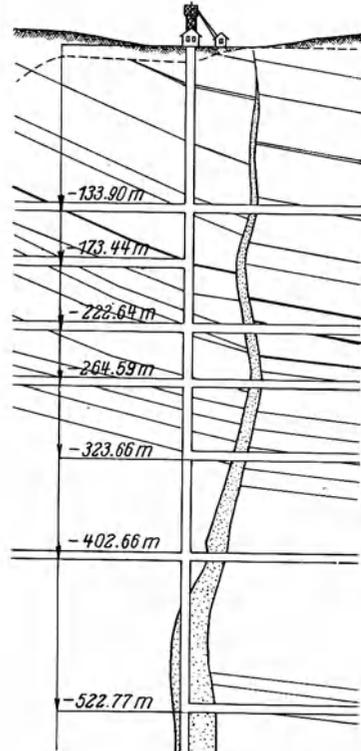


Abb. 49. Schnitt durch einen Versuchsschacht in Schlesisch-Ostrau

Die Verhältnisse werden noch komplizierter, wenn die in Frage kommenden geologischen Leiter oberflächlich durchfeuchtet werden. In Abb. 53 sehen wir zunächst stark ausgezogen eine Kurve, die die Eindringtiefe als Funktion der Frequenz darstellen soll. Die Kurve I

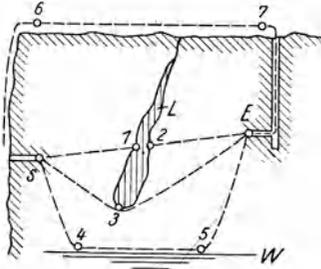


Abb. 50. Auftreten mehrerer Quellwege unter Tags

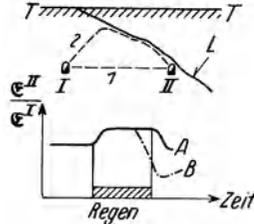


Abb. 51 Einfluß der Witterung

stellt uns nun den Verlauf des spezifischen Widerstandes im Mittel dar, wenn der geologische Leiter bis zu einer gewissen Tiefe t durchfeuchtet ist. Ist der geologische Leiter dagegen völlig trocken, so

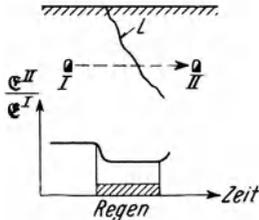


Abb. 52. Einfluß der Witterung

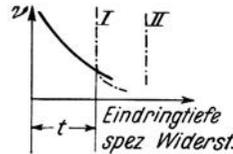


Abb. 53. Einfluß der Frequenz auf den Widerstand

bleibt dieser Widerstandswert, wie die Kurve II zeigt, konstant. Als spezifischer Widerstand ist hier der Widerstand für den Raumentimeter des tatsächlich vom Strom durchflossenen Volumens anzunehmen.

E. Funkmutung

Unter Funkmutung versteht man den Nachweis irgendeines geologischen Leiters, insbesondere aber eines nützlichen Mineralvorkommens, nach Lage, Ausdehnung und Beschaffenheit durch funktechnische Vermessungen. Die zu mutende Lagerstätte wird hierbei nicht mechanisch angefahren.

1. Bezeichnung und Grundlagen

Gegen den Vorschlag des Verfassers für die im nachfolgenden beschriebenen Arbeitsmethoden die Bezeichnung „Funkmutung“ zu verwenden, wurden seinerzeit Bedenken erhoben, da der Begriff „Muten“ bergrechtlich festgelegt ist. Der Verfasser hat indessen nachgewiesen, daß auch unter Rücksichtnahme auf diese bergrechtliche Bezeichnung der Name Funkmutung haltbar sei. Der Ausdruck Funkmutung wird übrigens auch heute allgemein gebraucht.

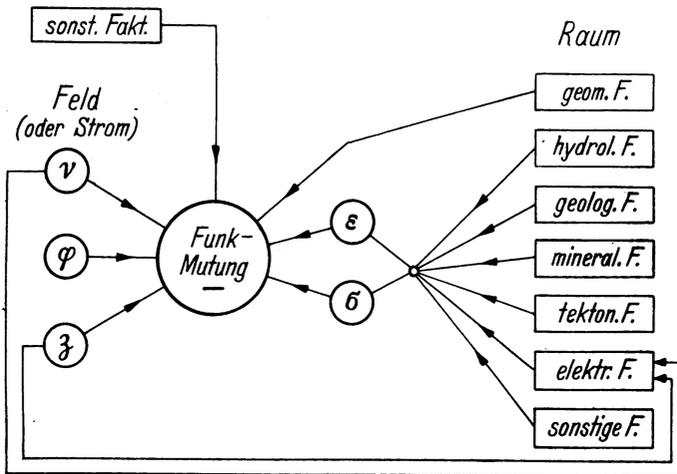


Abb. 54. Schema der Funkmutung

Beim Funkmuten wird folgender prinzipieller Vorgang eingehalten:

- Es wird die Ausbreitung des Feldes oder des Stromes in dem zu untersuchenden Raume gemessen.
- Aus der Strom- und Feldverteilung wird auf die elektrischen Eigenschaften jener geologischen Leiter geschlossen, die in dem zu untersuchenden Raume enthalten sind.
- Ist auch dies geschehen, so versucht man unter Bedachtnahme auf andere geologische, mineralogische, hydrologische und sonstige Faktoren auf die mögliche Existenz geologischer Leiter zu schließen, deren elektrische Eigenschaften die Feld- und Stromverteilung erklären können.

In Abb. 54 ist ein Übersichtsschema der Funkmutung gezeichnet. Man sieht aus diesem, daß es nötig ist, eine ganze Reihe von Hilfswissenschaften einzusetzen, um ein richtiges Ergebnis zu erhalten. Interessanterweise ist z. B. Loewy der Meinung, daß eine brauchbare Funkmutung lediglich durch Auswertung der elektrischen Ergebnisse möglich sein kann. Dieser Überzeugung kann jedoch der Verfasser nicht beipflichten.

Die Schwierigkeiten, die sich jeder Funkmutung entgegenstellen, sind hauptsächlich folgende:

- a) Es ist oft sehr schwer möglich, richtige Meßergebnisse zu erhalten, da die Apparate häufig unter sehr ungünstigen Verhältnissen eingesetzt werden müssen.
- b) Die richtige Schätzung der Fehler ist oft deshalb nicht möglich, weil nicht immer alle Fehlerquellen bekannt sind und auch deren Wirksamkeit sehr verschieden sein kann.
- c) Es gibt in der Regel sehr verschiedene Möglichkeiten, die erhaltenen Ergebnisse zunächst elektrisch und dann geologisch zu interpretieren. Da diese Arbeit nur im Einvernehmen mit dem Geologen und Hydrologen vorgenommen werden kann, so besteht die Gefahr, daß unrichtige Vermutungen dieser beiden eine unrichtige Deutung der Versuchsergebnisse verschulden.

Mit Rücksicht darauf, daß die Durchfeuchtung und Wasserführung auf die elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter den größten Einfluß ausübt, gewinnt neuerdings die Elektrohydrologie für die Funkgeologie immer mehr an Bedeutung.

2. Ausbreitungsverfahren

Über die Ausbreitung der Hertz'schen Felder an der Oberfläche eines Raumes, der mit geologischen Leitern erfüllt ist, sowie auch im Innern eines solchen Raumes, wurde schon früher gesprochen. An dieser Stelle sollen kurz die Möglichkeiten behandelt werden, die sich aus diesen Erkenntnissen für die Funkmutung ergeben.

a) Allgemeines

Die wichtigsten drei Grundprobleme sind in Abb. 55, 56 und 57 skizziert.

In Abb. 55 ist das Grundproblem ober Tags skizziert. Der Sender *S* steht über einem Untergrund, der aus drei verschiedenen

Schichten zusammengesetzt ist. Die Schicht I soll eine Mächtigkeit von 50 bis 100 cm aufweisen, während die Mächtigkeit der Schichten II und III als veränderlich angesehen werden soll. Die DK der Schicht I soll bei sehr trockenem Wetter 10 bis 15, bei Regen ungefähr 60 und im Mittel bei 25 betragen. Der spezifische Widerstand dieser Schicht soll je nach der Durchfeuchtung zwischen 10 und 10^5 Ohm je cm^3 schwanken. Die DK der Schicht II soll zwischen 3 und 10 variieren, der spezifische Widerstand zwischen 10^5 und 10^7 Ohm je cm^3 .

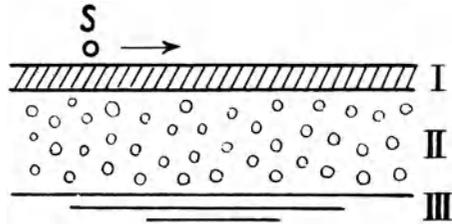


Abb. 55. Geschichteter Untergrund

Als Schicht III ist schließlich ein Grundwasservorkommen von ganz geringem Widerstand angenommen, dessen DK bei 80 beträgt. Es wäre nun die Reichweite des Senders S einmal als Funktion der Mächtigkeit der Schicht II und das andere Mal als Funk-

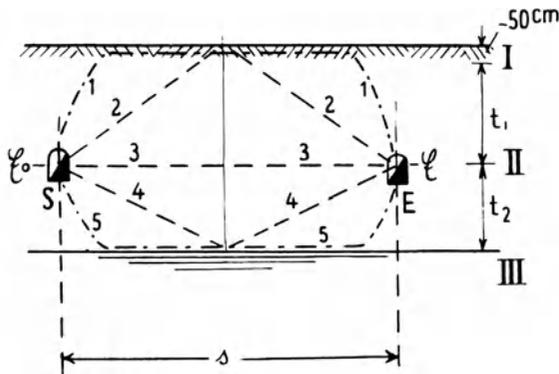


Abb. 56. Die wichtigsten Quellwege in geschichtetem Untergrunde

tion der elektrischen Eigenschaften dieser Schicht zu ermitteln. Um diese Aufgaben zu lösen, kann man auf die Arbeiten von Zenneck und Hack zurückgreifen. Diese beiden Verfasser haben nicht nur die Reichweite, sondern auch die Richtung des Feldes über diesen geschichteten Leiter in brauchbarer Weise berechnet.

Das Grundproblem der Ausbreitung unter Tags zeigt Abb. 56. Wir sehen wieder drei verschiedene Schichten, deren Eigenschaften

mit jenen in Abb. 55 übereinstimmen sollen. Bei S steht der Sender und bei E das Feldstärkenmeßgerät. Man sieht, daß zwischen S und E insbesondere fünf verschiedene Quellwege zu berücksichtigen sind. Es soll nun die Feldstärke in E ermittelt werden, und zwar als Summe der Teilfeldstärken, die über die einzelnen Wege, natürlich mit einer gewissen gegenseitigen Phasenverschiebung, induziert werden.

In Abb. 57 sehen wir schließlich noch einen wichtigen Sonderfall, nämlich die Ausbreitung eines Feldes in einem Raume, der abwechselnd aus Schichten I und II besteht, deren elektrische Eigen-

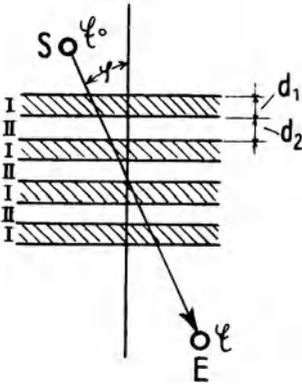


Abb. 57. Ausbreitung in geschichteten geologischen Leitern

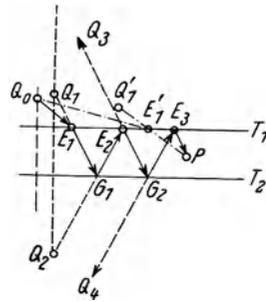


Abb. 58. Annahme virtueller Strahler

schaften voneinander verschieden sind. Bei S soll wieder der Sender und bei E das Meßgerät angenommen werden. Es ist die Feldstärke in E in Abhängigkeit von folgenden Faktoren zu ermitteln:

- $(d_1 + d_2)/d_1$.
- Vom Winkel φ , den der Quellweg mit der auf den Schichten errichteten Senkrechten einschließt.
- Von den elektrischen Eigenschaften der Schichten I und II.
- Von der Wellenlänge.

Praktisch kann die Schichtstärke zwischen einigen Dezimetern und mehreren zehn Metern variieren. Die elektrischen Eigenschaften können ebenfalls innerhalb sehr weiter Grenzen veränderlich sein. Oft werden gutleitende mit schlechtleitenden Schichten abwechseln.

Für die Behandlung dieser Probleme wären nun in erster Linie jene Verfahren geeignet, die Violet entwickelt hat. Nun ist aber gerade nach dessen Ansicht die Behandlung der drei funkgeologischen Grundprobleme sehr schwer und mit den bisherigen Mitteln kaum möglich. In Abb. 58 ist die Ausbreitung eines Feldes vom Punkte Q_0 zum Punkte P dargestellt. Es sind bloß zwei Trennflächen T_1 und T_2 angenommen, von denen die eine überdies völlig undurchlässig sein soll. In Abb. 58 sind bloß zwei der möglichen Quellwege eingezeichnet. Der eine führt von Q_0 beziehungsweise von dem virtuellen Strahler Q_1 über $\overline{E_1 \rightarrow G_1 \rightarrow E_2 \rightarrow G_2 \rightarrow E_3}$ nach P . In der Abbildung sind die dazugehörigen einzelnen virtuellen Strahler eingetragen. Der zweite Weg führt von Q_0 beziehungsweise dem virtuellen Strahler Q'_1 über E'_1 nach P . Schon in diesem verhältnismäßig einfachen Falle wird ein ziemlich kompliziertes Integral erhalten werden. In Wirklichkeit ist die Sache aber noch viel schwieriger, da mehrere Quellwege und reflektierende Flächen zu berücksichtigen sein werden. Violet weist darauf hin, daß man es hier nicht mehr mit einzelnen genau definierten Strahlen zu tun haben wird, sondern vielmehr mit einem Bündel irgendwie gebrochener Strahlen, die von der Quelle aus zunächst divergieren und dann zum Aufpunkt hin wieder konvergieren.

Es ist also heute noch nicht möglich, die Grundprobleme der Funkmutung rechnerisch einwandfrei zu behandeln. Trotzdem wird man in manchen Fällen auch rechnerische Mittel einsetzen, wenn irgendein bestimmter Hauptquellweg besonders ausgeprägt ist. Im übrigen wird man aber immer gezwungen sein, durch Vergleiche mit anderen Faktoren die Vieldeutigkeit, die zunächst hier immer gegeben ist, möglichst weitgehend einzuengen.

b) Absorptionsverfahren

Absorptionsverfahren werden in der Regel unter Tags verwendet. Mitunter kann man auch, wie dies Abb. 59 zeigt, ein Gebirge zwischen zwei obertägigen Punkten S und E durchstrahlen. In diesem Falle muß man dann allerdings nicht nur den Weg 1, sondern auch den Weg 2 berücksichtigen. Will man durch Funkmutung etwa den Gang G nachweisen, so muß die Länge und der Verlauf des Quellweges bekannt sein, da sonst der Verschnitt mit der Lagerstätte nicht ermittelt werden könnte. Natürlich müssen auch die elektrischen

Eigenschaften der Lagerstätte wenigstens schätzungsweise bekannt sein, um die Schwächungsziffer zu ermitteln. In Abb. 60 sehen wir den Verlauf der Feldstärke zwischen dem Sender S und dem Empfänger E dargestellt. Die Wege S_1 und S_5 sollen in Luft verlaufen. Der Feldstärkerückgang entlang dieser kurzen Wege kann daher vernachlässigt werden. Entlang der Wege S_2 und S_4 soll das Feld in geologischen Leitern von der Schwächungsziffer γ_1 verlaufen. Die Schwächungsziffer entlang des Weges S_3 wollen wir

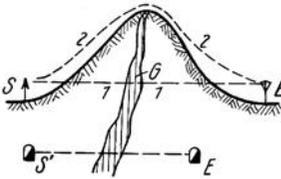


Abb. 59. Direkte und umlaufende Welle

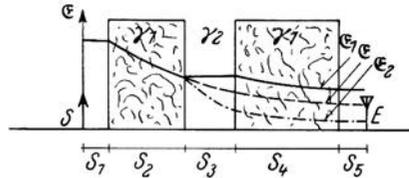


Abb. 60. Absorption im Gebirge

verschieden annehmen. Einmal soll der Weg S_3 in einer Höhle verlaufen, das andere Mal in einem Erzgang, dessen Schwächungsziffer γ_2 höher liegt als die des Nebengesteins.

Im ersten Falle erhalten wir:

$$\mathfrak{E}_1 \cong \mathfrak{E}_0 e^{-\gamma_1 (S_2 + S_4)}$$

und im zweiten Falle:

$$\mathfrak{E}_2 \cong \mathfrak{E}_0 e^{-\gamma_1 (S_2 + S_4) - \gamma_2 (S_3)}.$$

Wäre nun das ganze Gebirge homogen, so erhielten wir:

$$\mathfrak{E} \cong \mathfrak{E}_0 e^{-\gamma_1 (S_2 + S_3 + S_4)}.$$

Ist somit in dem untersuchten Raume eine Höhle enthalten, so erhalten wir das Feldstärkenverhältnis:

$$\frac{\mathfrak{E}_1}{\mathfrak{E}} \cong \frac{e^{-\gamma_1 (S_2 + S_4)}}{e^{-\gamma_1 (S_2 + S_3 + S_4)}}.$$

Ist dagegen ein Gang eingeschlossen, so erhalten wir das andere Verhältnis:

$$\frac{\mathfrak{E}_2}{\mathfrak{E}} \cong \frac{e^{-\gamma_1 (S_2 + S_4) - \gamma_2 S_3}}{e^{-\gamma_1 (S_2 + S_3 + S_4)}}.$$

Die Schwächungsziffer kann aus der Dielektrizitätskonstante, der Leitfähigkeit und der Wellenlänge bestimmt werden. Die üblichen

Berechnungsformeln gelten aber nur für Wellenlängen über 100 m, darunter treten Anomalien auf, so daß eine Berechnung der Schwächungsziffer für den Kurzwellenbereich zur Zeit kaum möglich ist.

Es sind folgende zwei prinzipiellen Möglichkeiten geboten, um nach der Absorptionmethode Funkmutung durchzuführen:

1. Es ist die totale Länge aus Karten bekannt. Auch der Verschnitt kann geschätzt werden (z. B. die Mächtigkeit des Ganges). Durch die Messung sollen Anhaltspunkte über den Wert der Schwächungsziffer gefunden werden, um z. B. festzustellen, ob der Gang an der betreffenden Stelle nicht vertaubt.
2. Es ist die totale Länge aus Karten bekannt, außerdem kann die Schwächungsziffer hinreichend geschätzt werden. Durch die Messung ist der Verschnitt zu bestimmen. Dieses Verfahren wird man anwenden, wenn man z. B. die Mächtigkeit eines Ganges bestimmen will.

Die genauesten Ergebnisse erhält man durch Bestimmung der Stromstärke in der Empfangsantenne. In vielen Fällen kann aber auch eine subjektive Messung zum Ziele führen. So wurden z. B. durch Schätzung der Lautstärke nach der zehnteiligen Skala, des Bureau of Standard, Washington, durchaus brauchbare Ergebnisse erhalten. Man darf nicht vergessen, daß die Geräte oft unter so ungünstigen Verhältnissen eingesetzt werden müssen, daß der Einbau empfindlicher Meßgeräte schwer möglich ist, während die Anschaltung eines Kopfhörers selbst unter solchen Umständen noch möglich sein wird.

Will man ein größeres Gebirgsvolumen nach der Absorptionmethode untersuchen, so muß man zuerst eine Reihe von Standlinien wählen, die das Gebirge an Stellen durchsetzen, an denen man Homogenität voraussetzen kann. Entlang dieser Standlinien wird dann der Feldstärkerückgang gemessen und aus diesem die Schwächungsziffer für das homogene Gebirge ermittelt. Alsdann wird jener Teil des Gebirges durchmessen, in dem man das Vorkommen oder die Höhle vermutet. Erhält man dabei eine höhere Schwächungsziffer, so kann man auf die Existenz eines gut leitenden Einschlusses schließen, im anderen Fall dagegen auf die Existenz eines Hohlraumes. Oft allerdings sind Hohlräume mit feuchten

Überzügen ausgekleidet. Ist dies der Fall, so kann es vorkommen, daß die Höhle auch als gutleitender Einschluß in Erscheinung tritt. Berücksichtigt man indessen alle geologischen, besonders auch alle hydrologischen Faktoren und führt man die Messungen mit verschiedenen Wellenlängen durch, so ist es trotz aller Schwierigkeiten möglich, brauchbare Ergebnisse zu erzielen. In Abb. 61 ist das Ergebnis einer Funkmutung festgehalten, das der Verfasser vor

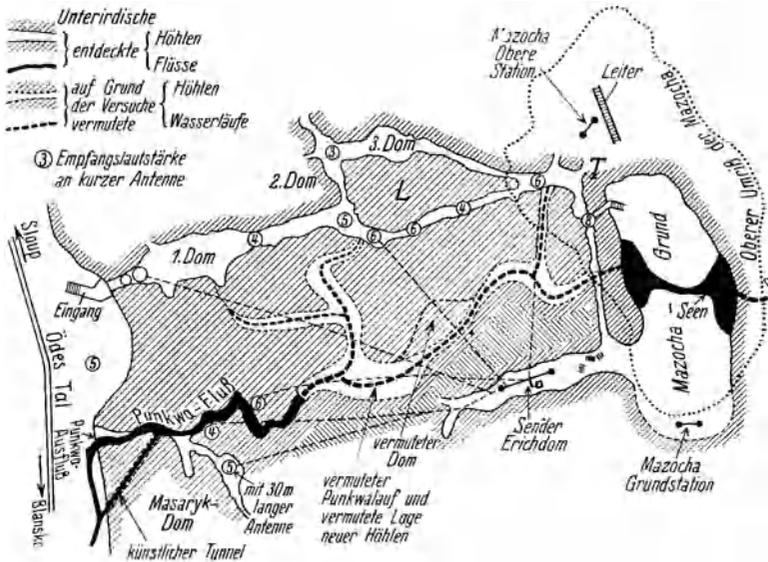


Abb. 61. Schnitt durch die Punkwahöhlen

einigen Jahren veröffentlicht hat. In Abb. 62 ist dieses Prognostikum mit dem Stande der später eingesetzten Forschung verglichen. Die von Absolon 1933 entdeckte Höhle stimmt mit der im Jahre 1932 prognostizierten befriedigend überein.

Ober Tags können mitunter Gebirgsschatten auf die Existenz von Erzlagerstätten hindeuten. Die Verhältnisse sind in Abb. 63 gezeigt. Nehmen wir die Quelle des Feldes bei *Q* an, so wird hinter dem Gebirge *G* eine Zone liegen, in der der Empfang sehr stark geschwächt ist. Die Form dieser Zone *S* ist in der Abbildung gezeigt. Die Ausdehnung dieses Schattens und vor allem die Stärke des Intensitätsrückganges ist von den funkgeologischen Eigenschaften

des Gebirges G abhängig. Ist in dieses z. B. ein gutleitender Erzgang eingebettet, so wird der elektrische Schatten stärker ausgeprägt sein, als wenn es sich um einen trockenen Felsen handelt. Wichtig ist in allen diesen Fällen aber die Ausscheidung der umlaufenden Welle.



Abb. 62. Funkmutungsergebnisse

Auf andere mögliche Ausbreitungsverfahren wurde bereits früher hingewiesen. Neuerdings hat man Geräte konstruiert, die aus leicht tragbarem Sender und Empfänger bestehen. Diese werden dann in gleichbleibenden Abständen über das zu untersuchende Gebirge hinwegbewegt. Hierbei wird die Intensität und Phasenlage des empfangenen Feldes gemessen. Man kann aus den Meßergebnissen auf die Existenz und die ungefähre Tiefe guter geologischer Leiter im Untergrunde schließen.

Einige wichtige Arbeiten über die Ausbreitungstheorie und die Ergebnisse praktischer Untersuchungen wurden bereits mitgeteilt. Von weiteren Untersuchungen seien insbesondere jene von Hollmann, Kunze-Burkhard, Marconi, Stojc und Cloos erwähnt. Auf dem Gebiete der Felddiagnose sind auch die Arbeiten von Khastgir von Bedeutung. Auf Unstimmigkeiten zwischen Theorie und Praxis verweist unter anderem Epstein. Schließlich sind noch die Untersuchungen über Modellversuche von Megaw wichtig.

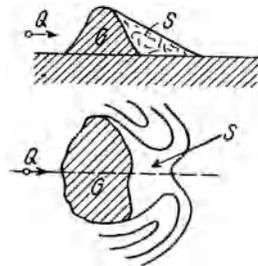


Abb. 63. Elektrische Schatten

Die Absorptionsmethode wird mitunter auch dazu verwendet, um die geologischen Leiter, die zwischen Bohrlöchern liegen, zu untersuchen. In diesem Falle ist es nötig, den Sender in das Bohrloch einzuführen. Es bereitet heute keine Schwierigkeiten, Sender und Empfänger in der erforderlichen gedrängten Form zu bauen. Schwierig wird aber die Abstimmung. Mit aperiodischem Empfang kann man nicht arbeiten, da man ein Interesse daran hat, die Übertragungswellenlänge zu kennen. Andererseits ist es natürlich unmöglich, die eingehängte Antenne und den Sender aufeinander abzustimmen. Nach einem Vorschlage des Verfassers rüstet man in diesem Falle den Sender mit einem automatisch veränderlichen Drehkondensator aus, der die Wellenlänge innerhalb bestimmter Grenzen ständig verändert. Der Empfänger wird auf eine bestimmte Welle abgestimmt und dann eingehängt. Vorteilhafterweise rüstet man ihn mit photographischer Empfangsregistrierung aus. Arbeiten Sender und Empfänger auf der gleichen Welle, so erhält man ein Empfangsmaximum.

c) Frequenzverfahren

Sind die Länge und Lage des Quellweges im Innern des Gebirges nicht genau bekannt, so versagen die bisher angeführten Methoden. Die Gleichung

$$\mathfrak{G} = \mathfrak{G}_0 e^{-\gamma s}$$

enthält dann zwei Unbekannte (die Schwächungsziffer sowie die Länge des Quellweges) und kann daher nicht gelöst werden. In diesem Falle macht man sich den Umstand zunutze, daß die Schwächungsziffer oft in funktioneller Abhängigkeit von der Frequenz steht. In Abb. 64 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Die Kurve G bezieht sich auf irgendein Gebirge, die Gerade L auf Luft. Während also die Schwächungsziffer des Gebirges von der Frequenz abhängig ist, ist dies bei Luft nicht der Fall. Wir wollen zunächst nur den Bereich b näher betrachten. Nehmen wir an, im Gebirge sei ein Leiter eingeschlossen, dessen Schwächungsziffer von der Frequenz unabhängig sei, während die Schwächungsziffer des Gebirges selbst von der Frequenz in jener Abhängigkeit steht, die durch die Kurve α in Abb. 65 dargestellt wird. Ist nun diese Einlagerung nicht mächtig, so wird die Schwächungsziffer des Gesamtvolumens ebenfalls eine starke Abhängigkeit von der Frequenz zeigen. Je mächtiger sie

aber wird, desto stärker wird auch der Einfluß der Frequenz auf die Schwingungsziffer werden. Die Kurve *a* in Abb. 65 wird allmählich in die Kurve *b* und *c* übergehen. Im Bereich der Wellen unter 100 m Länge wird der Verlauf noch komplizierter. Man versucht zur Zeit, für verschiedene wichtige geologische Leiter die schon erwähnte charakteristische funkgeologische Kurve zu finden. Dies ist auch vom Standpunkt der Funkmutung aus wichtig. Durchstrahlt man

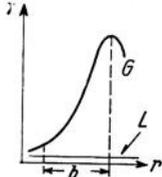


Abb. 64. Funkgeologische Kurven

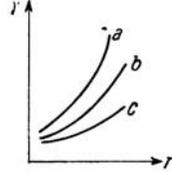
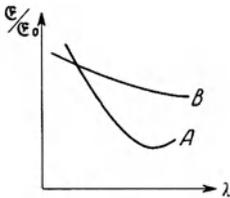
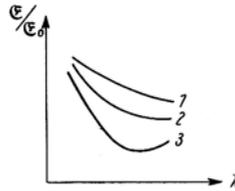
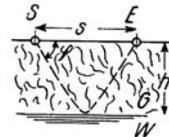


Abb. 65. Funkgeologische Kurven

ein Gebirgsvolumen, so erhält man eine bestimmte Kurve, die die Feldstärke als Funktion der Wellenlänge darstellt. Durch Vergleich dieser aufgenommenen Kurve mit schon bekannten ist es dann möglich, auf die Beschaffenheit des betreffenden Gebirges zu schließen. Erhält man für zwei geologische Leiter die in Abb. 66

Abb. 66.
Funkgeologische KurvenAbb. 67.
Funkgeologische KurvenAbb. 68.
Reflexionsmethode

gezeichneten Kurven *A* und *B*, so resultiert für ein Gebirge, das aus beiden zusammengesetzt ist, eine der in Abb. 67 dargestellten Kurven. Mit zunehmender Mächtigkeit des Vorkommens *A* wird die resultierende Kurve allmählich in die Form 3 deformiert werden.

d) Ablenkungsverfahren

Das prinzipielle über die Reflexion und Führungsverfahren wurde schon an früherer Stelle (S. 40) mitgeteilt. Die Methode, die Führung der Felder entlang guter geologischer Leiter zur Funk-

mutung auszunützen, geht auf einen Vorschlag Koenigsbergers zurück. Das Reflexionsprinzip wurde vornehmlich von Loewy-Leimbach praktisch verwendet. Es ist in Abb. 68 schematisch dargestellt. Der Sender steht bei S , der Empfänger bei E . G ist ein trockenes Gebirge und W das gutleitende Grundwasser. Die Tiefe des Grundwasserspiegels ist dann leicht zu berechnen, wenn der Winkel, unter dem das Feld in den Untergrund eingestrahlt wird, bekannt ist.

Leider erweist sich dieses Verfahren in der Praxis keineswegs so einfach, wie es theoretisch scheint. Vor allem fehlt es sehr oft an den erforderlichen klar ausgeprägten Flächen. An die Stelle der reinen Reflexion tritt in den meisten Fällen die schwer zu berechnende Beugung des Feldes. Schließlich ist auch noch der Verlauf der Quellwege in den seltensten Fällen gerade. Diese Schwierigkeiten haben es mit sich gebracht, daß das Reflexionsverfahren trotz seines verhältnismäßig hohen Alters bis heute eigentlich nur wenig verwendet wird. Vor dem Kriege gelang es Kröncke, angeblich in Deutsch-Ostafrika mit der auch in diese Gruppe gehörigen Viertelwellenlängen-Methode Wasser zu finden. Seine Versuchsergebnisse können aber aus den vorliegenden Publikationen nicht eindeutig beurteilt werden.

Echomethoden, wie sie zur Erforschung der Ionosphäre angewendet werden, wurden bisher in der Funkgeologie noch nicht verwendet, da die heute in Betracht kommenden Entfernungen zu klein sind. In Zukunft dürften sie indessen bei der Erforschung größerer Tiefen, insbesondere zu geophysikalischen Zwecken, Verwendung finden.

3. Widerstandsverfahren

Das einfachste Widerstandsverfahren besteht darin, daß man den zu untersuchenden geologischen Leiter in einem Hochfrequenzkreis einschaltet und nun die durch diese Einschaltung zustande gekommenen Veränderungen in den Strom- und Phasenverhältnissen bestimmt.

In Abb. 69 ist diese Einschaltung für den Fall der Parallelresonanz eingezeichnet. Bedeutet φ den Phasenwinkel, so erhalten wir:

$$R_g = \frac{1/\omega L - \omega C}{\tan \varphi}.$$

Bei Reihenresonanz wird der Winkel zwischen den Spannungen an den einzelnen Widerständen bestimmt. Man kann auch die Resonanzkurve des Kreises aufnehmen und den Widerstand R_g aus der Form dieser Kurve bestimmen.

Die wichtigsten Verfahren, die in diese Gruppe gehören, führen den oft allerdings etwas irreführenden Namen Kapazitätsmethoden. Das Grundprinzip dieses Verfahrens ist folgendes: In den Meßkreis wird einerseits der zu untersuchende Widerstand \mathfrak{R}_g , andererseits eine Kapazität C' eingeschaltet. Es wird dann einmal bei abgeschaltetem Widerstand \mathfrak{R}_g , das andere Mal bei angeschaltetem Widerstand \mathfrak{R}_g die Kapazität C' unter der Voraussetzung gemessen, daß die Kreisfrequenz die gleiche bleibt.

Das Grundproblem lautet daher:

$$C' = f(\mathfrak{R}_g).$$

\mathfrak{R}_g zerfällt nun in R_g und X_{C_g} . In Abb. 70 sind die für uns wichtigsten sechs Fälle gezeichnet. In der oberen Reihe sehen wir die Verhältnisse bei Parallelresonanz, in der unteren bei Reihenresonanz. C_a ist die Kapazität zwischen der Elektrode und der Oberfläche des Untergrundes. Im folgenden seien stets Maßantennen mit großer Endkapazität angenommen, deren Längen gegenüber der Wellenlänge sehr klein sind. R_g ist der Ohmsche und C_g der kapazitive Anteil des geologischen Widerstandes. M bedeutet das Meßgerät, L die Selbstinduktion des Meßkreises und C' die Meßkapazität. Unter der Voraussetzung, daß auch C_a geändert werden kann, ergeben sich für die praktische Durchführung der Messung die beiden Möglichkeiten

$$C' = f(C_a, |\mathfrak{R}_g|) \quad \text{und} \quad C' = f(|\mathfrak{R}_g|, C_a) = \text{const.}$$

In den Fällen *a)* und *d)* handelt es sich um einfache Kompensationsprobleme. Es ist angenommen, daß in den geologischen Leitern nur Verschiebungsströme fließen. Die anderen Fälle sind komplizierter. In Abb. 71 sind die entsprechenden Diagramme für die in Abb. 70 unter *e)* und *f)* dargestellten Ersatzschemen gezeichnet. In Abb. 72 und 73 sind die Diagramme für die unter *b)* und *c)* in Abb. 70 dargestellten Ersatzschemen gezeichnet. Der prinzipielle Vorteil besteht darin, daß es mit diesen Verfahren möglich ist, Nichtleiter nachzuweisen, die in andere Nichtleiter eingebettet sind. Verfahren dieser Art können somit auch dort eingesetzt werden, wo

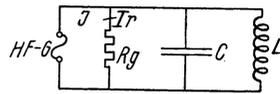


Abb. 69. Geologischer Leiter im Schwingungskreis

niederfrequente Methoden aus prinzipiellen Gründen versagen müssen. Im allgemeinen wird man dort, wo vornehmlich Verschiebungsströme zu berücksichtigen sind, also etwa beim Nachweis von Nichtleitern, mit Reihenkompensation, sonst dagegen vornehmlich mit Parallelkompensation arbeiten. Die Selbstinduktion und

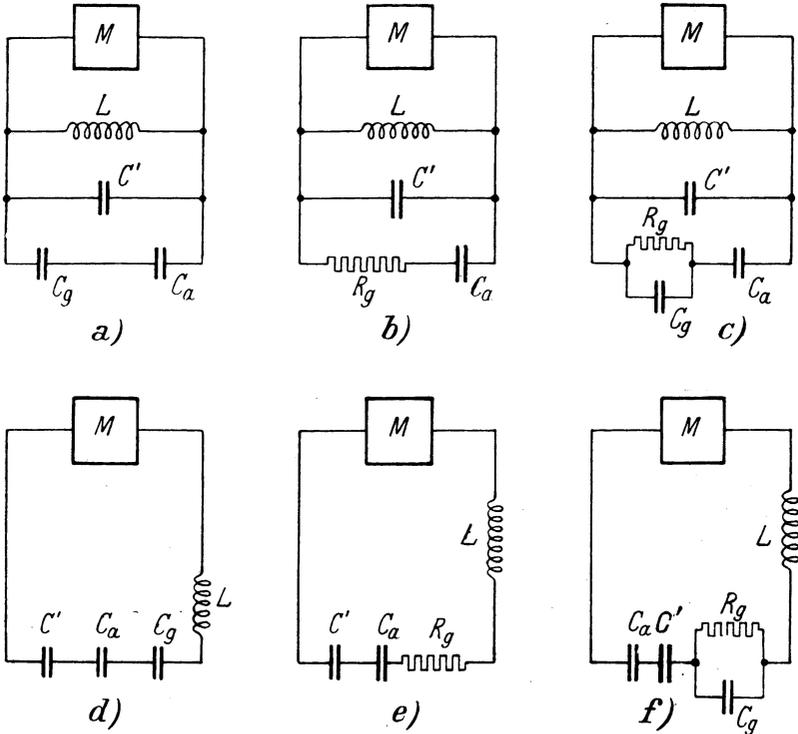


Abb. 70. Ersatzschemas für Meßantennen

die Kapazität des Meßkreises sollen ebenfalls zueinander in ein günstiges Verhältnis gebracht werden. Auf jeden Fall aber muß beachtet werden, daß die Änderung der Größe C' keineswegs der totalen Antennenkapazität gleichgesetzt werden darf. Für die Größe C' könnte die Bezeichnung „Ersatzkapazität“ verwendet werden.

Zur Messung eignen sich alle Geräte, die eine einwandfreie Messung der Frequenz gestatten. Vornehmlich werden solche ver-

wendet, die nach dem Überlagerungs- oder Reißverfahren arbeiten. Jedes Gerät besteht aus zwei Teilen: dem Frequenzindikator, der angibt, daß eine bestimmte Frequenz eingestellt ist und dem aus einer Reihe von Kapazitäten bestehenden Kompensationskreis. Die Grundzüge der Überlagerungsverfahren sind allgemein bekannt. Es genügt daher an dieser Stelle die Wirkungsweise der sogenannten Reißverfahren kurz zu erläutern, da diese nicht so allgemein bekannt sind und gerade hier oft verwendet werden. In Abb. 74 sehen wir das Schaltschema einer üblichen Meßanordnung. Im Gitterkreis der

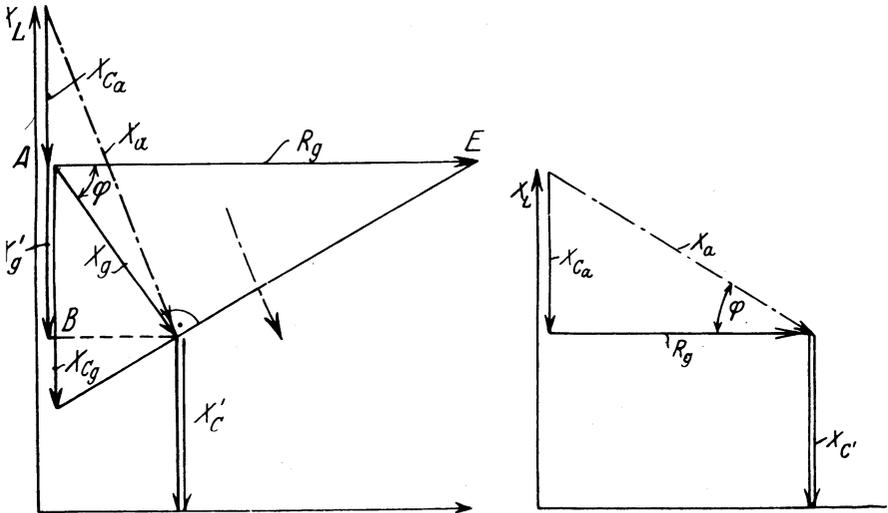


Abb. 71. Vektordiagramm für Meßantennen über geologischen Leitern

Röhre liegt der Schwingkristall Kr . Im Anodenkreis der gleichen Röhre liegt die Selbstinduktion L_2 , die mit L_1 des Gitterkreises gekoppelt ist. Parallel zu L_2 liegt der Kompensationskreis. Die Röhre wird bekanntlich dann schwingen, wenn die Eigenfrequenz des Anodenkreises jener des Kristalls gleich ist. Schaltet man nun bei A die Meßantennen an, so wird diese Eigenfrequenz in der Regel gestört werden. Durch Veränderung der Kapazitäten, also durch Drehung des eingezeichneten Drehkondensators, und durch Zu- oder Abschalten der Kapazitäten C_2 bis C_7 , kann man wieder den Resonanzzustand herstellen. Die Ersatzkapazität ist dann der Differenz der Kapazitäten vor und nach Einschaltung der Meßantennen gleich.

In Abb. 75 ist eine Außenansicht und in Abb. 76 eine Innenansicht des Gerätes gezeigt. Man erkennt den Loewequarz, die festen und die variablen Kapazitäten. Der Resonanzzustand wird von einem Meßgerät und im Hörer T , der in die Apparatur fest eingebaut

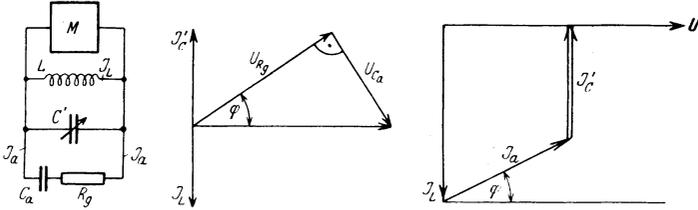


Abb. 72

ist, angezeigt. In Abb. 77 ist schließlich noch die Unterteilung und Erweiterung des Kapazitätsbereiches im Anodenkreis dargestellt. C_a ist die feste Vorschaltkapazität, C_b bedeutet den Suchbereich, C_c und C_d schließlich den festen und veränderlichen Feinstellbereich.

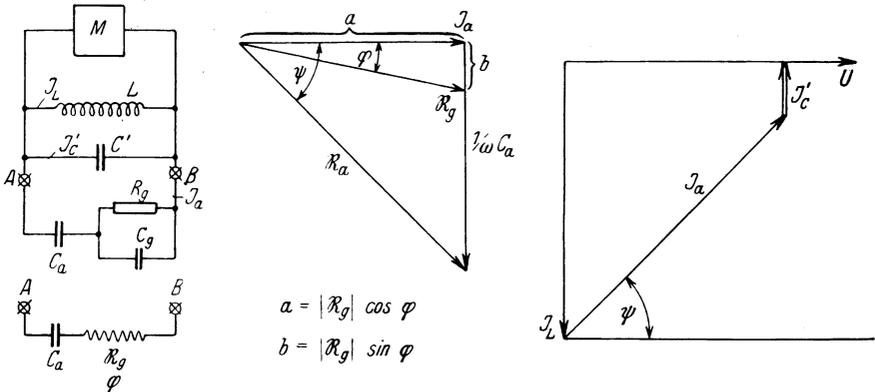


Abb. 73

Abb. 72 und 73. Ersatzschema und Vektordiagramm für Parallelkompensation

Bei der Messung geht man so vor, daß man zunächst stufenweise entsprechende Kapazitäten vorschaltet und dann durch Veränderung des Suchbereiches die ungefähre Lage des Resonanzpunktes bestimmt. Hat man hier Anhaltspunkte gewonnen, so geht man an die Feinabstimmung. Die Schaltung, die uns Abb. 74 zeigt, berücksichtigt

alle diese Möglichkeiten. Die veränderliche Kapazität besteht aus einem Drehkondensator von ungefähr 500 cm Kapazität. Sind die

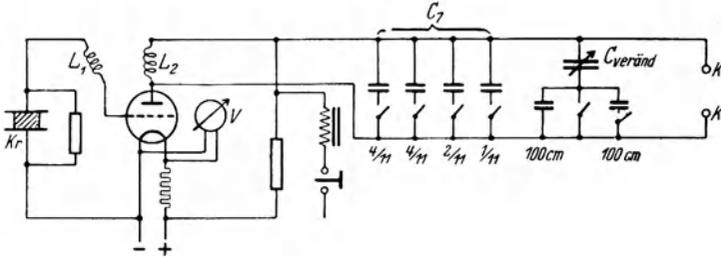


Abb. 74. Schaltschema für das Meßgerät nach der Reißmethode

beiden Kapazitäten von 100 cm kurzgeschlossen, was durch Umlegen des mittleren Schalters geschieht, so ist die gesamte Kapazität

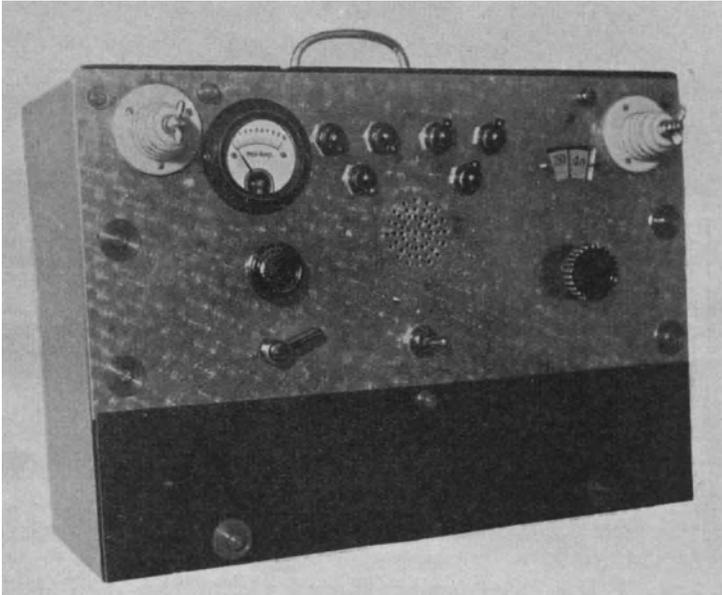


Abb. 75. Meßgerät nach der Reißmethode

wirksam (Suchbereich). Ist dieser Schalter dagegen geöffnet, so kann deren Kapazität angeschaltet werden. Ist diese klein gegen-

über der Kapazität des Drehkondensators, so wird beim Durchdrehen des Drehkondensators die resultierende Kapazität zwischen der Anfangskapazität und dem Wert der kleinen Kapazität verändert

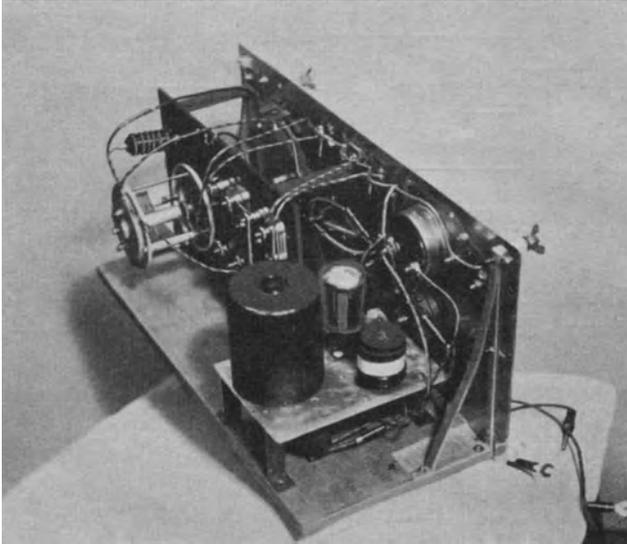


Abb. 76. Meßgerät, Inneres

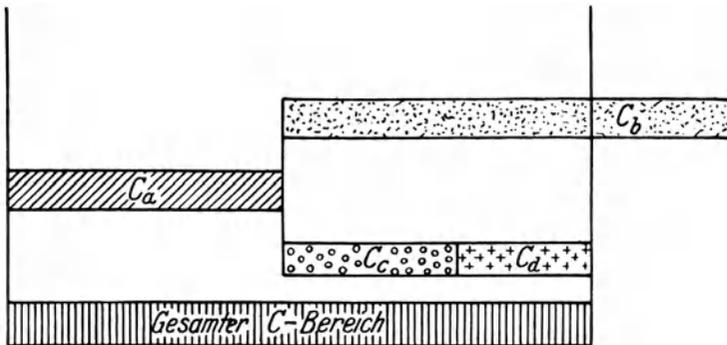


Abb. 77. Bereich der Meßkapazitäten

werden (Feinstellbereich). Die anderen Kapazitäten gehören dem Vorschaltbereich an.

Besonderheiten ergeben sich, wenn die Stromverteilung im Antennenbereich nicht mehr quasistationär ist. Man soll daher die

Wellenlänge immer mindestens so groß wählen, daß ihr Viertel ein Vielfaches der größten praktisch in Betracht kommenden geometrischen Entfernung ist. Dabei muß man aber auch beachten, daß die Wellenlänge in den geologischen Leitern von jener in Luft verschieden ist.

Verspannen wir die Meßantennen über einem gutleitenden Vorkommen, so müssen wir beachten, daß nicht alle von der Antenne ausgehenden Verschiebungslinien auf diesem Vorkommen einsenken. Wir müssen also berücksichtigen, daß der Übergriff dieses Vorkommens nicht volle 100 % beträgt. Als Übergriff bezeichnen wir das Verhältnis der Zahl der Verschiebungslinien, die auf dem betreffenden Leiter einsenken, zur Zahl jener, die diesen, beziehungsweise eine durch diesen hindurchgelegte Fläche durchsetzen. Beträgt somit der Übergriff einer Schicht 20 %, so bedeutet dies, daß von 100 Verschiebungslinien 20 auf diesen Leiter einsenken und 80 hindurchgehen. Man wird es daher bei Kapazitätsverfahren fast stets mit fiktiven Leitern in fiktiven Teufen zu tun haben.

Von großer Wichtigkeit ist natürlich das Auftreten von Verlusten in benachbarten Leitungen. Man muß auf solche bei der Verspannung der Meßantenne Rücksicht nehmen.

Hat man die Ersatzkapazität bestimmt, so muß man diese übersichtlich darstellen. Die drei wichtigsten Verfahren sind folgende:

- a) Verfahren mit veränderlicher Antennenhöhe. Man beläßt die beiden Äste einer linearen Antenne, deren Länge gegenüber der Wellenlänge klein ist, an der gleichen Stelle, verändert aber ihre Höhe über der Erdoberfläche. Man erhält dann Kurven, die die Ersatzkapazität als Funktion der Antennenhöhe darstellen. Diese Kurven weisen über verschiedenartigem Untergrund typische Kennzeichen auf. Vergleicht man sie mit Kurven, die unter bekannten Voraussetzungen, oder aber am Phantom aufgenommen wurden, so kann man dann Schlüsse auf die elektrischen Eigenschaften des Untergrundes ziehen.
- b) Standlinienmethode. Über das zu untersuchende Gelände werden Standlinien gezogen, entlang denen die Ersatzkapazität einer Antenne bestimmt wird, die vorteilhafter Weise eine große Endkapazität aufweist und die stets in gleicher Höhe bleibt. Wir können dann wieder Kurven zeichnen, die uns die Ersatzkapazität über irgendeinem Punkte der Stand-

linie anzeigen. Elektrische Diskontinuitäten im Untergrunde bedingen dann auch eine Diskontinuität in der erwähnten Kurve. Die Deutung erfolgt auch wiederum am besten durch Vergleich mit Kurven, die unter bekannten Voraussetzungen aufgenommen wurden, oder aber die durch Vermessung eines Phantoms zustande kamen.

- c) Methode der C -Gleichen. Über dem zu untersuchenden Gelände werden an möglichst zahlreichen Punkten die Ersatzkapazitätswerte bestimmt, wobei die Antenne stets in der gleichen Höhe bleibt. Es werden nun auf Grund dieser Messungen Kurven gezeichnet, die den geometrischen Ort aller Punkte gleicher Ersatzkapazität darstellen.

In Abb. 78 sehen wir drei C -Gleichen in das Profil der Strecke eingezeichnet. Das linke Profil bezieht sich auf taubes Gestein (Schiefer), das mittlere auf eine Strecke, die in Schwerspat vor-

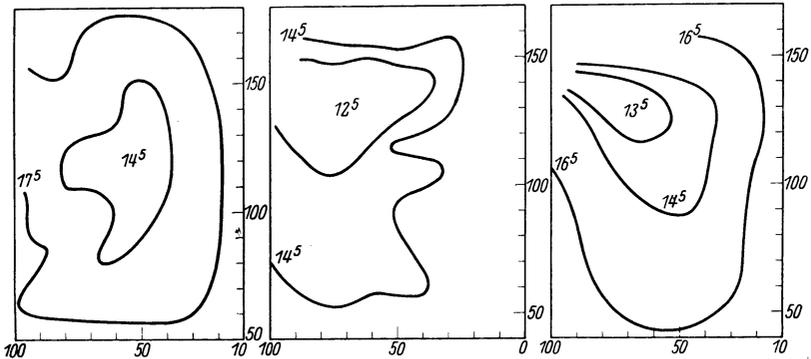


Abb. 78. C -Gleichen für den Querschnitt der Strecke

gebracht wurde und die rechte schließlich auf eine Strecke, die in einem Gemenge aus Schwerspat und Spateisensteingang verläuft. Der Abstand der C -Gleiche 14,5 beträgt, wie man aus den Abbildungen ersehen kann, vom First im tauben Gestein 64 cm, im Gemenge 63 cm und im Schwerspat 45 cm im Durchschnitt. Er ist also im Schwerspat deutlich geringer. In Abb. 79 sehen wir den Verlauf der C -Gleiche über den Fochdom im Mährischen Karst. Die C -Gleichen verfolgen im allgemeinen die Kontur des Domes. Nur im rechten Teile der Zeichnung greifen sie über diese weit hinaus. Eine Schürfung zeigte, daß in diesem Teil der Fochdom eine, allerdings mit Lehm versetzte Fortsetzung aufweist, die früher unbekannt

war. In Abb. 80 sind die *C*-Gleichen über dem Plateau von Ostrov eingezeichnet. Man sieht, daß diese mit dem Verlauf einer Verwerfung, die in der Abbildung eingezeichnet ist, parallel gehen.

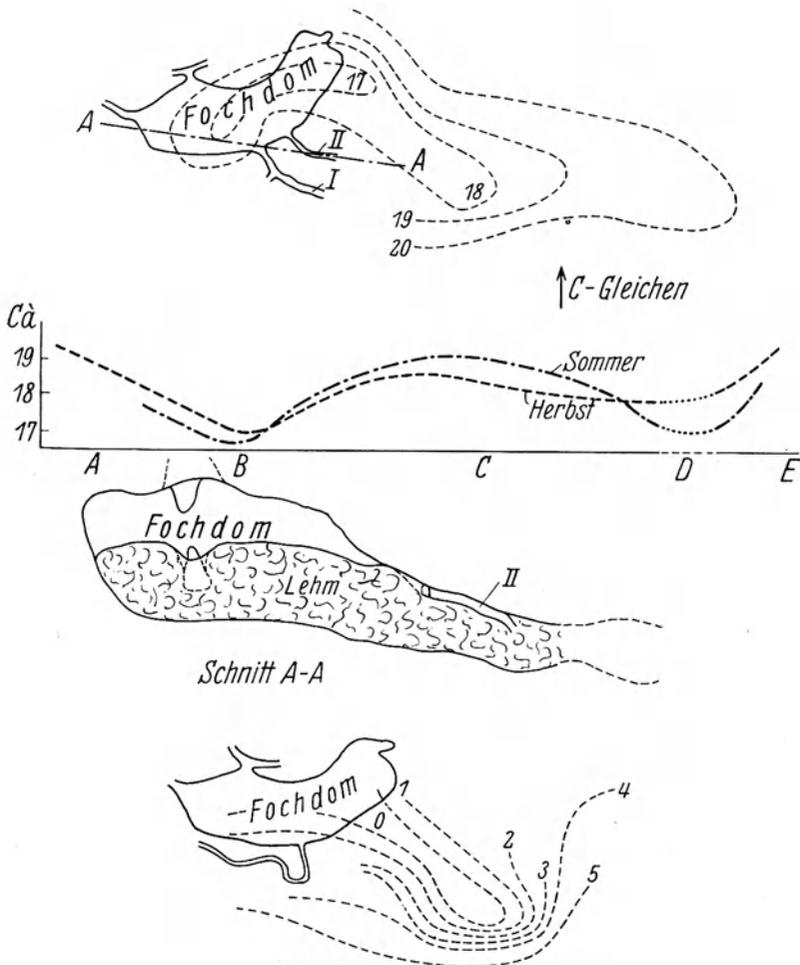


Abb. 79. *C*-Gleichen über dem Fochdom

Um über einem größeren Gelände irgendwelche Vermessungen dieser Art durchzuführen, braucht man in der Regel einen längeren Zeitraum. In diesem werden sich aber fast stets die Witterungs-

verhältnisse ändern. Nun haben wir aber bereits gesehen, daß schon verhältnismäßig schwache Veränderungen der Sonnenbestrahlung ausreichen können, um die elektrischen Eigenschaften der Oberflächenschichten ziemlich stark zu verändern. Man wird daher solche Veränderungen unbedingt berücksichtigen müssen. Dies geschieht so, daß man im Gelände einen oder mehrere Festpunkte auswählt

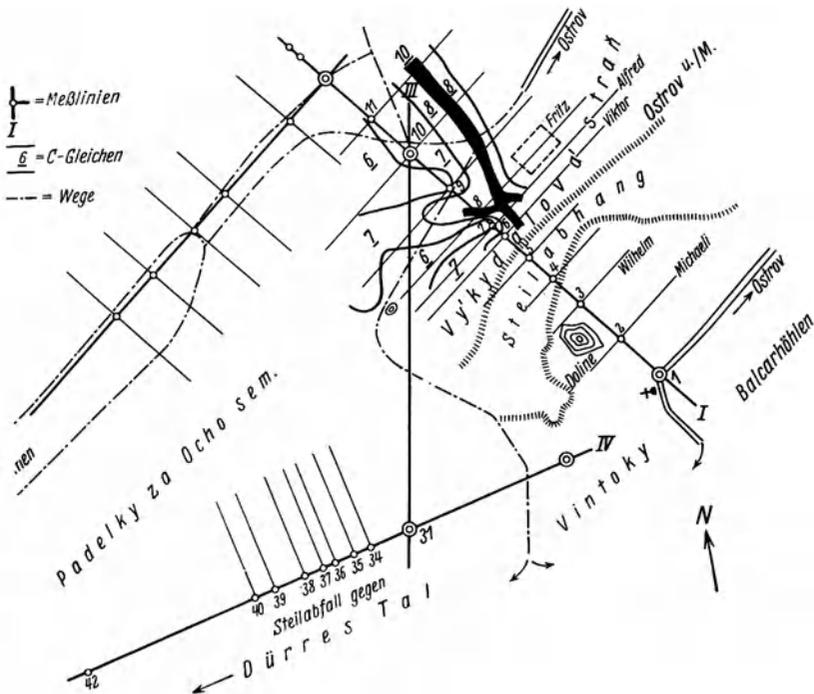


Abb. 80. C-Gleichen über einer Verwerferspalte

und über diesen während der ganzen Meßdauer in regelmäßigen Zwischenräumen Kontrollmessungen durchführt, die dann eine Korrektur der übrigen Ergebnisse gestatten. Die Kontrollpunkte sind mit besonderer Rücksicht auf die geoelektrische Struktur des Untergrundes zu wählen, und zwar möglichst dort, wo ein homogener Untergrund vorausgesetzt werden darf.

Mittels Hochfrequenz können auch jene Messungen durchgeführt werden, die heute schon in der Geoelektrik mit Gleichstrom oder

Niederfrequenz ausgeführt werden. Man muß hierbei jedoch auf die folgenden, durch die hochfrequenten Meßströme bedingten Besonderheiten Rücksicht nehmen.

- a) Die Aufschlußteufe ist nicht nur vom Abstand der Elektroden oder Meßantennen, sondern auch von der Frequenz abhängig.
- b) Die elektrischen Eigenschaften der im Untergrunde enthaltenen geologischen Leiter sind von der Frequenz abhängig; sie dürfen daher nicht als konstant angesehen werden.
- c) Elektrodenfehler sind bei diesen Verfahren nicht zu berücksichtigen, was als Vorteil gewertet werden darf.
- d) In den geologischen Leitern werden in der Regel nicht nur Leitungs-, sondern auch Verschiebungsströme fließen. Dadurch ist eine Vieldeutigkeit des Meßergebnisses möglich. Fehlschlüsse sind indessen unter den praktisch in Betracht kommenden Voraussetzungen und innerhalb der zulässigen Grenzen nicht zu befürchten.

Auf die vielen Details, die bei der Durchführung dieser Verfahren zu berücksichtigen sind, kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Der Verfasser hat diese in einer Reihe besonderer Publikationen näher behandelt (siehe Literaturliste).

4. Sonstige Verfahren

Außer den hier angeführten Methoden gibt es natürlich noch eine ganze Reihe anderer, die im Laufe der Zeit entwickelt wurden. Es würde zu weit führen, diese alle erschöpfend zu behandeln. An dieser Stelle sollen daher nur noch Angaben über jene Verfahren gemacht werden, die durch Modellversuche die natürlichen Verhältnisse im Untergrund zu erfassen suchen. Diese Verfahren sind zweifellos auch praktisch wichtig; man muß aber eine Reihe wichtiger Gesichtspunkte beachten. Bei Modellversuchen wird natürlich stets die ganze Situation maßstäblich verkleinert. Bei manchen Verfahren muß man auch die Wellenlänge in dem gleichen Maßstabe herabsetzen und somit die Frequenz erhöhen. Nun darf man aber nicht übersehen, daß gerade im Bereiche der kurzen Wellen die elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter weitgehend durch die Frequenz bestimmt sind. Es kann daher geschehen, daß durch die Herabsetzung der Wellenlänge die funkgeologische Struktur vollkommen geändert

wird. Feuchtet man ein solches Modell an, so wird das Wasser in eine Oberflächenschicht von bestimmter Stärke eindringen. Das Verhältnis dieser Schichtstärke zu den anderen Dimensionen wird beim Modellversuch in der Regel ganz anders sein als in der Natur. Auch sonst ergeben sich noch weitere Schwierigkeiten, die fallweise zu berücksichtigen sind. Es ist daher bei allen diesen Versuchen Vorsicht geboten. In Abb. 81 sehen wir eine Apparatur, mit der eine Reihe einfacher Modellversuche durchgeführt werden können. Wir erkennen

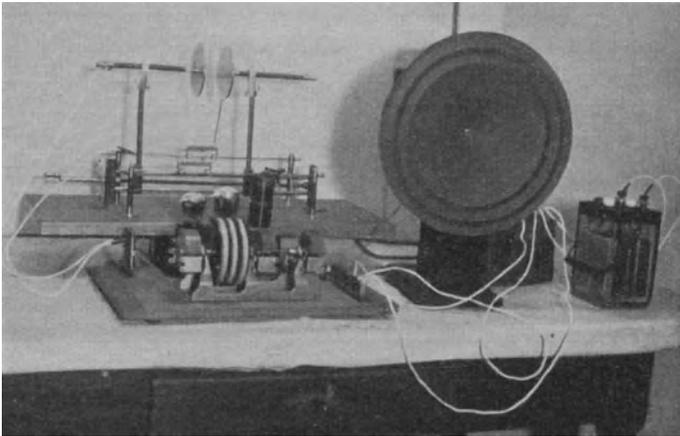


Abb. 81. Modell-Meßanordnung

in dieser Abbildung den Meßkondensator, in den z. B. zwei kreisrunde Platten eingespannt sind. An Stelle dieser Platten kann eine ganze Reihe anderer Elektroden verwendet werden, von denen einige in Abb. 82 zusammengestellt sind. Schließlich sind auch noch Messungen am Phantom möglich. Der Untergrund wird durch eine Reihe von Kapazitäten und Widerständen ersetzt, deren Werte den tatsächlichen Verhältnissen angepaßt wird.

F. Grubenfunk

Grubenfunkanlagen haben den Zweck, unter Tags Verbindungen zwischen Orten herzustellen, die aus irgendwelchen Gründen nicht durch Leitungen verbunden sind. Überdies hat der Grubenfunk noch die Aufgabe, Verbindungen zwischen unter- und obertägigen Orten

herzustellen. Physikalisch und technisch ist er somit dadurch gekennzeichnet, daß der Quellweg zum Teil in einem Raume verläuft, der mit geologischen Leitern erfüllt ist.

1. Physikalische und betriebstechnische Voraussetzungen

Funkanlagen wurden zunächst dazu verwendet, um zwischen dem Förderkorb und der Hängebank eine Verbindung herzustellen. In jeder Förderschale ist eine Signaleinrichtung eingebaut, die den

Aufgabe	Schema	geologische Beschreibung	Modellversuch	
			Elektrodenanordnung	elektr. Beschreibung
Nachweis eines gutleitenden Verwerfers F		 $\epsilon_1 \ll \epsilon_2$		1 = beweglicher Zylinder 2 = Elektrode ③ = Öl
Nachweis einer schlechtleitenden Spalte Sp.				1 = beweglicher Zylinder 2 = Elektrode ③ = Öl
Nachweis eines trockenen Hohlraumes H.				1 = beweglicher Zylinder 2 = hohler Glas-Körper ③ = Öl
Nachweis eines Hohlraumes H dessen Wände feucht sind				1 = beweglicher Zylinder 2 = Metallkörper. ③ = Öl
Darstellung einer übergreifenden Schichte G		H = Humus G = Deckschichte W = Grundwasser		1 = beweglicher Zyl. 2 = Netzelektrode (Maschendichte durch Übergreif bestimmt) 3 = Elektrode (Blech) ④ = Öl

A = Antenne

Abb. 82. Elektroden für Modellversuche

Zweck hat, im Falle einer unmittelbaren Gefahr eine Verbindung zwischen den im Förderkorb befindlichen Personen und dem Maschinenstand herzustellen. Das Signal wird in der Regel dadurch ausgelöst, daß ein Kontaktbügel, der an der Schale befestigt ist, gegen einen Signaldraht gepreßt wird. Da diese Vorrichtung bei rascher Fahrt oft nicht zufriedenstellend funktioniert, so hat man an die Stelle des Signaldrahtes eine Antenne gesetzt, die mit einem Schwingungskreis verbunden ist. In diesem Falle ist eine gute Kontaktgebung überflüssig, da die bloße Annäherung des Bügels bereits eine ausreichende Verstimmung hervorruft. Die Kapazität zwischen dem Draht und der Schachtmauerung ist allerdings be-

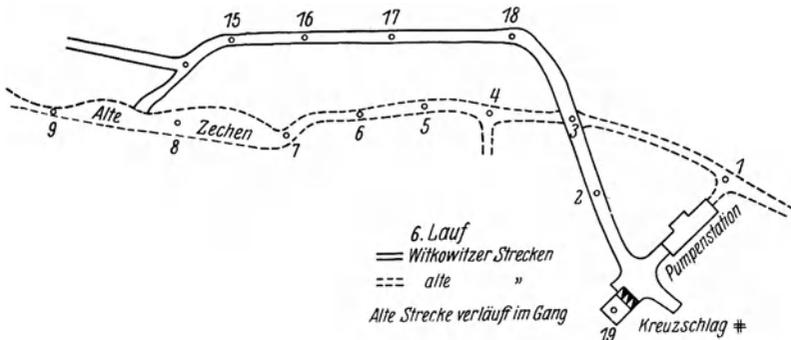


Abb. 83. Der sechste Lauf beim Kreuzschlagschacht in Kotterbach

deutenden Schwankungen unterworfen, die wieder von der Durchfeuchtung und somit von geoelektrischen Faktoren abhängig ist.

Heute will man sich indessen nicht mit einer Signalgebung in der nächsten Nähe der Antenne begnügen, sondern man verlangt vom Grubenfunk, daß er auch innerhalb der Grube bzw. zwischen der Grube und den obertägigen Kontrollstellen brauchbare Verbindungen herstellt. In einem früheren Abschnitt (S. 46) wurde bereits darauf hingewiesen, daß die bisher vorliegenden praktischen Versuchsergebnisse einen Grubenfunk möglich erscheinen lassen. In den letzten Jahren haben dies insbesondere die Untersuchungen von Stipanits und des Verfassers gezeigt.

Beim Grubenfunk müssen wir die gleichzeitige Existenz mehrerer Quellwege berücksichtigen. Einige verlaufen durch das feste Gebirge, andere wieder entlang der geologischen und sonstigen Leiter,

die in der Grube verlegt sind. Es muß also die Absorption durch das feste Gebirge und die Führung der Wellen durch die verschiedenen Leiter beachtet werden. Wie schon an anderer Stelle erwähnt wurde, sind Gänge, Verwerfer, Spalten usw. für die Ausbreitung des Feldes unter Tags von größtem Einfluß. In Abb. 83 sehen wir hierfür ein Beispiel. In dieser Abbildung ist ein Teil der Strecken am sechsten Lauf in Kotterbach dargestellt. Die strichliert gezeichneten alten Strecken liegen etwas höher als die neuen und ver-

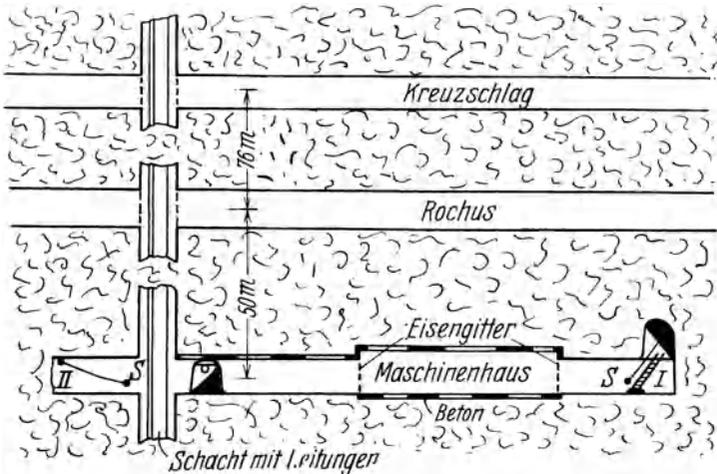


Abb. 84. Schnitt durch die Strecken in der Umgebung des Kreuzschlagschachtes in Kotterbach

laufen unmittelbar im Gang. Der Sender wurde im Orte 19 aufgestellt und arbeitete auf ungefähr 25 m Wellenlänge mit einer Eingangsenergie mit ungefähr 10 Watt. Bis zum Orte 3, wo die neue Strecke den Gang quert, betrug die Empfangslautstärke ungefähr 4 nach der 10teiligen „r“-Skala. Dann ging sie rasch zurück, betrug im Orte 18 nur mehr 1 bis 2 und im Orte 16 Null. Entlang des Ganges war dagegen der Empfang bis zum Orte 7 möglich. Man sieht ganz deutlich, daß in diesem Falle der Gang abschirmt.

Wichtig ist auch die Ausbreitung des Feldes im Schachte. Schon früher (S. 50) wurden darüber einige Angaben gemacht. Es sei daher hier noch ein Beispiel nachgetragen. In Abb. 84 sehen wir einen Schnitt durch die Kotterbacher Gruben in der Nähe des Kreuzschlagschachtes. Der Sender wurde zunächst im Orte 1 aufgestellt. Der Empfänger wurde in die Förderschale eingebaut und während

des Versuchs emporgehoben. Am 6. Lauf betrug die Lautstärke 5, in 40 m Höhe 3 und dann 2. Auf der Sohle Kreuzschlag betrug sie noch 2. Wurde der Empfänger vom Schacht entfernt, so nahm die Lautstärke auf der Sohle Kreuzschlag rasch ab. Wurde der Sender im Orte II aufgestellt, also in unmittelbarer Nähe des Schachtes, so waren die Lautstärken besser. Die Lautstärke ging in 30 m Höhe auf 4 zurück, verblieb aber dann ziemlich konstant auf dieser Stärke. Auf Kreuzschlag war es noch möglich, in 30 m Entfernung vom Schacht die Signale aufzunehmen. In diesen beiden Fällen wurde natürlich absichtlich mit einer geringen Antennenleistung gearbeitet. Bei Anlagen, die zu praktischen Zwecken errichtet werden, wird man natürlich mit höheren Leistungen arbeiten. Auch wasserführende Störungen wirken als Abschirmung. So wurde z. B. auf Sohle Rochus in Kotterbach ein starker Lautstärkerückgang beobachtet, der durch eine wasserführende Kluft zu erklären war.

Oft gelingt es in den Gruben verhältnismäßig schwache Sender, die ober Tags stehen, noch gut aufzunehmen, während Sender, die selbst in der Grube errichtet wurden, eine nur geringe Reichweite aufweisen. Der Grund ist in der Regel darin zu suchen, daß die Antenne des Senders unter Tags häufig sehr ungünstig verlegt ist. Oft ist sie in der unmittelbaren Nachbarschaft von guten metallischen und geologischen Leitern verspannt, die einen beträchtlichen Teil der Energie entziehen. Oft werden durch solche Leiter unbeabsichtigte und sehr unangenehme Verformungen des Strahldiagramms bedingt, die dann völlig unzureichende Reichweiten verschulden. Aus diesem Grunde kommt es bei der Errichtung untertägiger Sender vor allem darauf an, die Antenne so zu verlegen, daß ihre Nutzstrahlleistung möglich hoch ist. Man wird daher den Sender nach Möglichkeit dort aufzustellen haben, wo günstige Antennenverhältnisse gegeben sind. Da nun aber für den Grubenfunk nicht nur radiotechnische, sondern auch betriebstechnische Gesichtspunkte maßgebend sind, so wird man häufig auch an die Einrichtung eines Relaisdienstes denken müssen. An jener Stelle, an der Sendemöglichkeit verlangt wird, wird ein kleiner Sender aufgestellt, der seinerseits dann einen Zwischensender steuert, der an einem funkgeologisch möglichst vorteilhaften Ort untergebracht wird.

Es ist auch unbedingt nötig, bei der Erstellung von Grubenfunkverkehren die geologische Struktur des Untergrundes genau zu beachten. In Abb. 85 sehen wir ein charakteristisches Beispiel.

T bedeutet die Tagfläche, St stellt eine untertägige Strecke dar. Wenn der Sender bei S_1 , der Empfänger bei E_2 steht, so müßte der Quellweg 2 den guten geologischen Leiter L durchsetzen, der in das Gebirge eingelagert ist. Dies hätte eine bedeutende Schwächung des Empfanges zur Folge. Steht der Empfänger bei E_1 , so wird das Feld entlang des Weges 1 über eine längere Strecke vom Leiter L geführt; dadurch wird auch der Empfang bedeutend verbessert. Der Sender S_2 würde im Empfänger E_2 gut gehört werden, da der Quellweg 3 nur durch das schlechtleitende Gebirge hindurchgeht.

Die bisherigen Versuche haben gezeigt, daß unter Tags der Empfang jener obertägigen Sender am besten ist, die in der Richtung des Einfalles der Schichten, Gänge, gut leitenden Spalten und ähnlichen Leitern liegen. Beim Empfang obertägiger Sender ist weiter auch die elektrische Beschaffenheit der Oberflächenschichte von großer Wichtigkeit. Ist diese sehr gut leitend, so kann sie eine beträchtliche Schwächung des Empfanges bedingen. Aus diesem Grunde kann es sich daher auch empfehlen, die Antenne der ober-Tag-Station nicht oberhalb der Erdober-

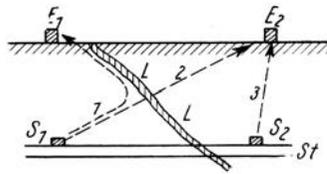


Abb. 85. Beeinflussung des Quellweges durch einen guten geologischen Leiter L

fläche auszuspannen, sondern diese unter die Humusschicht in das feste Gebirge zu verlegen. Über den Einfluß der Wellenlänge wurde bereits (S. 48) gesprochen. Alle bisherigen Versuche haben gezeigt, daß Funkverbindungen auf kurzen Wellen und auf längeren Rundfunkwellen möglich sind. Dagegen gelang es bisher noch nicht, solche Verbindungen im Bereiche der Wellen von 100 bis 300 m Länge herzustellen. Die von Stipanits und vom Verfasser unter Tags erzielten Reichweiten betragen bis zu 300 m. Sie dürften aber leicht bei Anwendung größerer Leistungen vergrößert werden.

Der Grubenfunk soll keineswegs jene Signaleinrichtungen ersetzen, die heute bereits in jeder Grube vorhanden sind. Er soll lediglich dann eingesetzt werden, wenn im Falle einer Katastrophe die Signalleitungen zerstört worden sind. In diesem Falle soll er dann die Möglichkeit bieten, mit solchen Punkten der Grube in Verkehr zu treten, die in anderer Weise nicht zu erreichen sind. Insbesondere soll er die Verständigung mit eingeschlossenen Mannschaften ermöglichen, die heute lediglich durch Klopfzeichen und andere, ganz unzulängliche Signalmittel herbeigeführt wird.

2. Gesichtspunkte für die Planung

Da eine Grubenfunkanlage im Falle der Gefahr einen Leitungs-telegraphen ersetzen soll, so muß er natürlich selbst von jeder Leitung unabhängig sein. Dies betrifft insbesondere auch seine Stromversorgung. Ein Grubensender, der nur dann betriebsbereit ist, wenn er an das Lichtnetz angeschlossen wird, kann seinen Zweck in keiner Weise erfüllen, da im Falle einer Katastrophe natürlich auch die Lichtleitungen zerstört werden. Sender und Empfänger müssen somit selbst alle erforderlichen Betriebsmittel enthalten.

Alle Grubenfunkgeräte müssen den rauen Betriebsbedingungen angepaßt werden. Ihr Aufbau muß so sein, daß auch durch starke Erschütterung keine Verformung der Abstimmeelemente eintritt. Die Abstimmung selbst soll nicht zu scharf sein, damit auch kleinere Veränderungen keinen zu großen Einfluß ausüben können. Die Antenne jener Sender, die in die Strecke mitgenommen werden, wird in der Regel bloß ausgeworfen oder provisorisch verspannt werden können. Bei den Zwischensendern wird man dagegen die Antenne auch in Sonden verlegen, die in das trockene Gebirge vorgebracht wurden. Als Stromquelle kommen Batterien oder kleine Generatoren in Betracht, die mit Preßluft und Handantrieb ausgestattet sind. Zwischensender können auch an das Kraftnetz angeschlossen werden. Ein Relais muß aber auf Preßluftantrieb umschalten, sobald das Kraftnetz gestört ist. Um mit den vorhandenen Betriebsmitteln möglichst lange auszukommen, wird sich unter Umständen intermittierender Betrieb empfehlen. Die Sender sind so auszurüsten, daß sie normalerweise durch Tastung bestimmte Signale ausgeben können. Sie müssen nicht nur vom völlig ungeübten, sondern auch von verwundeten Personen bedient werden können. Auf jeden Fall ist daher auch ein automatisches Notsignal vorzusehen, das im Falle der Gefahr durch einen einfachen Hebeldruck ausgelöst, längere Zeit selbsttätig den Standort angibt. Die Zahl der Empfangsstationen ober Tags ist von den geoelektrischen Verhältnissen des Untergrundes abhängig. Insbesondere im stark gestörten Gelände wird die Errichtung mehrerer Stationen notwendig sein. Die Zwischensender sind vor allem dort zu errichten, wo durch die geoelektrische Struktur des Untergrundes eine gute Verbindung mit den Stationen ober Tags gewährleistet erscheint.

G. Andere Anwendungen der Funkgeologie

Trotzdem die Funkgeologie eine verhältnismäßig junge Wissenschaft ist, gibt es heute doch eine Reihe von Möglichkeiten, sie in manchen Zweigen anderer Wissenschaften und der Technik anzuwenden.

1. Anwendung in der Geologie und Montanistik

Neben der Funkmutung und dem Grubenfunk kann die Funkgeologie im Bergwesen noch zu anderen Zwecken verwendet werden. Es wurde schon an früherer Stelle erwähnt, daß die elektrischen Eigenschaften eines gashaltigen und eines gasarmen Kohlenflözes voneinander verschieden sind. Es wurde auch darauf hingewiesen, daß der Feuchtigkeitsgehalt eines geologischen Leiters durch elektrische Messung oft früher nachgewiesen werden kann als durch Wägung auf einer normalen Analysenwaage. Es ist auch möglich, Apparate zu konstruieren, die Gasausbrüche und Wassereinbrüche rechtzeitig anzeigen. In Abb. 86 sehen wir ein Beispiel für eine solche Signalanlage. In der Strecke ist das mit einer Signaleinrichtung verbundene Meßgerät M angebracht, an dessen Schwingungskreis die Elektroden E

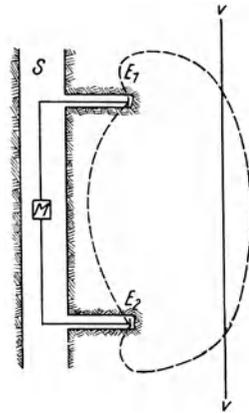


Abb. 86. Aufschlußvolumen

angeschlossen sind. Die Begrenzung des Aufschlußraumes ist entlang der strichpunktierten Linie angenommen. Wir wollen bei V eine wasserführende Kluft annehmen. Dringt nun von dieser Wasser in das Nebengestein ein, so wird dessen Durchfeuchtung und Leitfähigkeit steigen. Tritt eine elektrische Veränderung innerhalb des Aufschlußraumes ein, so hat dies eine Verstimmung des Kreises zur Folge, an den die Elektroden E angeschaltet sind. Dadurch kann dann in M ein Relais ausgelöst werden, das das Signal betätigt. In gleicher Weise können auch Einrichtungen für den Nachweis von Gasausbrüchen gebaut werden. Der höhere Gasgehalt wird ein Absinken des Widerstandes zur Folge haben und kann daher ebenfalls nachgewiesen werden. Die theoretischen Voraussetzungen sind heute für beide Verfahren ausreichend klargelegt. In praktischer Hinsicht befinden sich aber noch beide im Versuchsstadium.

Sie sind für den Bergbau natürlich sehr wichtig. Nach ähnlichen Gesichtspunkten können übrigens auch Apparate gebaut werden, die das Ansteigen von Grundwässern, das Eindringen von Wasser in Staudämmen und ähnliches anzeigen.

In der Geologie können die hier beschriebenen Verfahren insbesondere zum Nachweis von Verwerfern, Bruchzonen und anderen tektonischen Störungen herangezogen werden. Gegenüber anderen geophysikalischen Meßverfahren haben sie vielleicht den Vorteil einer sehr weitgehenden Variationsmöglichkeit voraus. Freilich darf man nicht annehmen, daß durch die Verfahren der Funkmutung andere Methoden der angewandten Geophysik wertlos werden. Die günstigsten Ergebnisse werden sicher durch möglichst gleichzeitigen Einsatz mehrerer Verfahren die einander ergänzen, erzielt werden.

2. Anwendung in der Elektrotechnik

In der Elektrotechnik spielen die elektrischen Eigenschaften des Untergrundes eine Rolle, wenn man diesen als Leiter in irgendeine Stromkreise einschaltet. Funkgeologische Erkenntnisse können in solchen Fällen von großem Wert sein.

Eine Reihe von Sicherheitseinrichtungen benützen die Erhöhung einer Leitungskapazität zur Auslösung eines Signals. Eine einfache derartige Anordnung zeigt die Abb. 87. An den Schwingungskreis ist einerseits die Erde, andererseits die Leitung D angeschlossen. Nähert sich nun eine Person der Leitung D , so wird die zwischen dieser Leitung und der Erde liegende Kapazität um den Betrag C' vergrößert. Durch diese Kapazitätserhöhung kann z. B. ein Abreißen der Schwingungen erzielt werden, was an dem Meßgerät M durch den Anstieg des Anodengleichstromes erkennbar wird. An Stelle von M kann natürlich auch ein Relais M eingeschaltet werden, das ein weiteres Signal auslöst. Theoretisch sind solche Anordnungen leicht zu entwerfen. Im Freien treten aber gewisse Schwierigkeiten auf. Die Leitung hat gegen „Erde“ stets eine gewisse Kapazität, die sogenannte „Ruhekapazität“. Diese Ruhekapazität ist Schwankungen ausgesetzt, die dadurch entstehen, daß die funkgeologischen Eigenschaften des Untergrundes sich unter dem Einfluß der Witterung ständig ändern. Werden nun diese Änderungen größer als der bereits erwähnte Wert C' , so wird die Anordnung unbrauchbar. Vor der Planung einer solchen Anlage muß daher der Funkgeologe unter-

suchen, ob bei dem betreffenden Boden so große Schwankungen möglich sind. Ist dies der Fall, dann müssen Kompensationsrichtungen vorgesehen werden.

Neuerdings werden auch Beziehungen zwischen der Blitzforschung und der Funkgeologie geschaffen.

Der Punkt, an dem der Einschlag wahrscheinlich ist, ist in erster Linie auch durch statische Gesichtspunkte bedingt. Der einschlagende Blitz wird sicher abgeleitet, wenn der Einschlagspunkt mit dem Vorkommen, das die Blitzladung zunächst aufnehmen soll, durch einen Leiter von ausreichend geringem Widerstand verbunden ist. Der Spannungsabfall an diesem Leiter darf nicht jenen Wert überschreiten, der ausreichen würde, um ein Überspringen des Blitzes auf bessere Ableitungen in der Nachbarschaft zu ermöglichen.

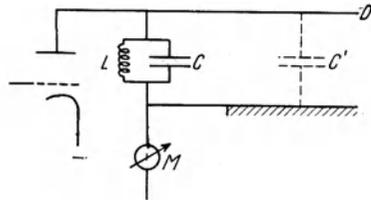


Abb. 87. Signaleinrichtung

Blitzgefährdet sind somit vor allem Orte, über denen der Potentialgradient viel steiler ansteigt als in der Umgebung.

Der Blitzschutz kann passiver und aktiver Natur sein.

- a) Passiver Blitzschutz: Es werden durch funkgeologische Vermessung jene Orte festgelegt, an denen Blitzgefahr besteht, damit diese gemieden oder gesichert werden können.
- b) Aktiver Blitzschutz: Die Einschlaggefahr wird durch technische Mittel herabgesetzt. In der Nähe des zu sichernden Ortes wird ein Leiter angebracht, über dem der Potentialgradient viel steiler verläuft und der mit ausreichenden Vorkommen in gute Verbindung gesetzt wird.

Die Voraussetzung für den wirksamen Blitzschutz ist die genaue Kenntnis der elektrischen Eigenschaften des Untergrundes. Diese beurteilt der Funkgeologe. Der Blitzstrom ist eine Gleichstromentladung. Die Beanspruchung durch ihn ist aber eine ähnliche wie jene durch einen hochfrequenten Wechselstrom von ungefähr 1000 m Wellenlänge. Daher müssen alle Ableitungen nach hochfrequenztechnischen Gesichtspunkten gebaut werden. Skin-effekt und andere bereits früher erwähnte Effekte sind zu berücksichtigen.

Beim passiven Blitzschutz fallen dem Funkgeologen folgende Aufgaben zu: Er muß zunächst untersuchen, wo größere gutleitende Vorkommen in geringer Teufe vorhanden sind. In der Ebene werden die Zonen über solchen Vorkommen gefährdet sein. Im Gebirge werden besonders jene hochgelegenen Punkte blitzgefährlich sein, die mit den erwähnten Vorkommen in Verbindung stehen. Es muß weiter untersucht werden, ob diese Verbindung für die Ableitung eines Blitzstromes ausreicht; sonst kann ein Überspringen eintreten. In Abb. 88 sehen wir ein Beispiel. Zwei Räume, die mit guten und

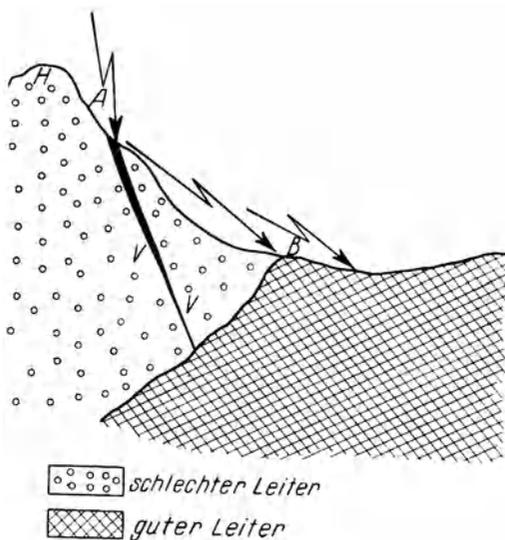


Abb. 88. Blitzschlag in geologische Leiter

schlechten geologischen Leitern erfüllt sind, stehen miteinander in Berührung. Diese Berührungszone, die wir als wasserführend und damit gutleitend ansehen wollen, geht bei *B* zu Tage aus. Überdies sei in das schlechtleitende Vorkommen noch eine gutdurchfeuchtete Spalte *V* eingelagert, die bei *A* die Erdoberfläche erreicht (bei *A* „ausbeißt“ oder „ausgeht“). Die vordringende Entladung wird zunächst den Punkt *A* anfahren, da über diesem der erwähnte luftelektrische Potentialgradient am größten sein wird. Infolge der nun einsetzenden ungemein hohen Stromstärke kann aber entlang des geologischen Leiters *V* ein beträchtlicher Spannungsabfall auf-

treten. Ist dieser größer als die zum Überspringen der Strecke $\overline{A-B}$ erforderliche Spannung, so wird der Blitz von A nach B und von hier eventuell zu weiteren Punkten des gutleitenden Vorkommens „abspringen“. Es ist also nicht nur die Umgebung von A , sondern das Gebiet zwischen $A-B$ gefährdet (Abspringzone). Der höchste Punkt H des Berges ist dagegen nicht gefährdet, da er über einem sehr schlechten Leiter liegt.

Bei der Anlage eines aktiven Blitzschutzes muß der Funkgeologe zunächst ein genügend großes und gutleitendes Vorkommen suchen und dann überprüfen, ob der Erder mit diesem in guten Kontakt gebracht wurde. In Abb. 89 sehen wir eine unzureichende Ableiteranlage.

Ein großes, gutleitendes Vorkommen G findet seine Fortsetzung in zwei feuchten Spalten, die sich bis zur Tagfläche erstrecken ($S_1 \dots S_2$). Die Spalte S_2 soll nun für die Ableitung nicht ausreichen und bei bestimmter Witterung ihre Hochfrequenzleitfähigkeit fast völlig verlieren, während die Spalte S_1 ihre Leitfähigkeit länger beibehalten soll. Der

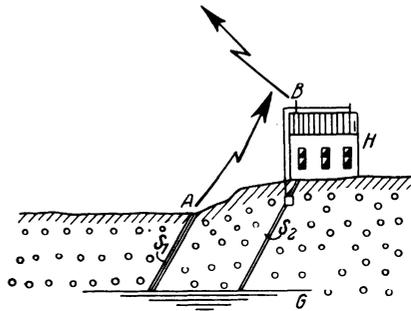


Abb. 89. Einfluß geologischer Leiter auf die Blitzgefährdung

Blitzableiter B , der auf dem Hause H errichtet wird, werde in der Spalte S_2 geerdet. Bei günstiger Witterung wird die übliche Messung unter Umständen einen ganz günstigen Übergangswiderstand ergeben, so daß die Erdung im Sinne der bestehenden Vorschriften genehmigt werden wird. Durch diese Anlage ist jedoch nichts weiter erreicht, als daß B blitzgefährdet erscheint. Denn schlägt jetzt der Blitz wirklich ein und reicht S_2 zur Ableitung nicht aus, so wird er nach S_1 abspringen. Hat aber Spalte S_2 durch Austrocknung überhaupt ihre Leitfähigkeit eingebüßt, so kann es vorkommen, daß der Blitz neben den Ableiter in S_1 einschlägt. Solche Fälle sind dem Verfasser selbst aus seiner Praxis bekannt. Auch in der Literatur sind sie angeführt, wiewohl man sie mitunter anders zu erklären sucht. Auf Grund dieser Erwägungen hatte der Verfasser zu wiederholten Malen schon in der Fachpresse zwei Forderungen erhoben.

- a) Bei der Anlage des Erders muß auf die funkgeologische Struktur des Untergrundes Rücksicht genommen werden. Eine Überprüfung, die in einem bestimmten Zeitpunkte vorgenommen wurde, sagt noch lange nicht, daß die Erdung unter allen Umständen ausreicht. Sie kann z. B. bei einer anderen Witterung völlig versagen.
- b) Es muß mit Hochfrequenz überprüft werden. Ein geschieferter und kompakter geologischer Leiter können sehr wohl den gleichen Gleichstromwiderstand aufweisen; bei Hochfrequenz wird aber der Widerstand des kompakten Leiters viel mehr ansteigen als der des geschieferten. Der geschieferte kann daher ausreichen und der andere nicht.

Gegen diese Forderungen könnte eingewendet werden, daß die heute angelegten Erder, die mit niederfrequentem Wechselstrom geprüft werden, ausreichen. Demgegenüber ist zunächst hervorzuheben, daß die Statistik nur einen sehr kleinen Teil aller angelegten Erder erfaßt und daher allgemein gültige Schlüsse noch nicht gestattet sind. Dann aber muß darauf hingewiesen werden, daß bis heute trotz Ableiter noch immer erhebliche Blitzschäden zu verzeichnen sind. Im übrigen können die heute üblichen Methoden durchaus genügen — aber nur unter der bestimmten Voraussetzung, daß die betreffenden geologischen Leiter in ihren Eigenschaften frequenzunabhängig sind. Ist dies nicht der Fall, so können sie allerdings völlig versagen. Aus diesem Grunde muß die obligatorische Überprüfung der Blitzerder mit Hochfrequenz gefordert werden.

Auch im Bereich der sogenannten Schutzerdung wird es nötig sein, funkgeologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Das Wesen der Schutzerdung besteht darin, daß der Untergrund, mit dem Personen in leitender Verbindung stehen, durch entsprechende Leiter mit jenen Metallteilen in Verbindung gebracht wird, die aus Sicherheitsgründen keine Spannung gegen den Untergrund haben dürfen. Mitunter werden solche Schutzerdungen über größere Gebiete erstreckt. Nun muß aber berücksichtigt werden, daß durch die „Erdung“ nur eine Verbindung mit bestimmten Teilen des Untergrundes herbeigeführt wird. Personen, die sich über jenem Vorkommen befinden, das mit dem betreffenden Leiter verbunden ist, werden ausreichend geschützt sein. Personen aber, die sich außerhalb dieses Vorkommens befinden, können trotz der Schutzerdung gefährdet sein. Dies tritt besonders in Bergwerken in Erscheinung.

Ist das Gebirge von mehreren gutleitenden Spalten durchzogen, so genügt es z. B. nicht, einen Nulleiter mit einer einzigen solchen Spalte zu verbinden, da die Spalten untereinander nicht in ausreichend guter Verbindung zu stehen brauchen. Die Schutzerdung darf in solchen Fällen nicht schematisch durchgeführt werden, sondern muß den jeweiligen Voraussetzungen angepaßt werden.

Schließlich ergeben sich in dieser Hinsicht noch weitere Anwendungsmöglichkeiten der Funkgeologie in der allgemeinen Funktechnik. Erdungen oder Gegengewichte verändern ihre Eigenschaften mit der Witterung. Der Funkgeologe muß daher untersuchen, wo solche Anlagen möglichst beständig angelegt werden können. Schließlich „altern“ auch Erdungen, was wohl durch Veränderungen im Gefüge des geologischen Leiters zu erklären ist.

3. Funkgeologisch-biologische Grenzprobleme

Seit Jahrhunderten wird behauptet, daß über bestimmten, geophysikalisch ausgezeichneten Stellen des Untergrundes pathogene Phänomene beobachtet worden seien. Der bekannteste Effekt, den wir dieser Gruppe zuzählen können, ist zweifellos der sogenannte Wüschelruteneffekt. An vielen Stellen der Literatur wird behauptet, daß besonders veranlagte Personen über geophysikalisch ausgezeichneten Stellen des Untergrundes Veränderungen des Organismus erleiden, die dann durch die Drehung eines Stabes, der sogenannten Wüschelrute, angezeigt werden. Obwohl nun über solche Beobachtungen eine ungemein reichhaltige Literatur existiert, ist es für die Wissenschaft dennoch sehr schwer, zu dieser Frage befriedigend Stellung zu nehmen.

Man hat nun im Laufe der letzten Jahre zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, um die Reaktionsursachen näher zu erforschen. Diese Untersuchungen erschienen auch deshalb notwendig, weil über den in Betracht kommenden Stellen, den sogenannten geopathogenen Zonen, nicht nur Rutenreaktionen, sondern angeblich auch schwere Erkrankungen beobachtet wurden. Bei der Beurteilung solcher Angaben ist größte Vorsicht am Platze, da ein Großteil der Versuche unter Voraussetzungen durchgeführt wurde, die wissenschaftlich kaum haltbar sind.

Versuche, die der Verfasser in Hinsicht des Einflusses infolge radioaktiver Strahlung künstlich ionisierter Luft unternahm, zeigten,

daß Rutengänger nicht imstande sind, Gebiete nachzuweisen, in denen eine ziemlich intensiv bestrahlte Luft stark ionisiert war. Eine Überprüfung der verschiedenen Erdstrahlhypothesen ist derzeit kaum möglich, weil nicht einmal Klarheit über die wichtigsten Eigenschaften, die dieser Strahlung zugeschrieben werden, zu erreichen ist. In der diesbezüglichen Literatur werden nämlich der Erdbestrahlung sehr verschiedene und einander widersprechende Eigenschaften zugeschrieben. Die physikalischen Beweise, die für ihre Existenz angeboten werden, sind völlig unbefriedigend.

In letzter Zeit gewinnt dagegen eine andere Hypothese immer mehr an Wahrscheinlichkeit. Beobachtungen zeigen, daß die Reaktionen des Rutengängers mit jenen Stellen des Untergrundes zusammenfallen, wo ein zunächst homogenes Feld aus funkgeologischen Gründen Störungen aufweisen müßte¹⁾.

Aus Versuchen des Verfassers in Winařitz ergab sich, daß dort, wo im Versuchsgelände keine deutlichen elektrischen Diskontinuitätsstellen nachgewiesen werden konnten, auch keine deutlichen Rutenreaktionen zu erhalten waren. Ähnliche Ergebnisse wie in Winařitz erhielt der Verfasser auch in Kotterbach und im Mährischen Karst. Diese Versuche sind deshalb interessant, weil sie in einem funk-

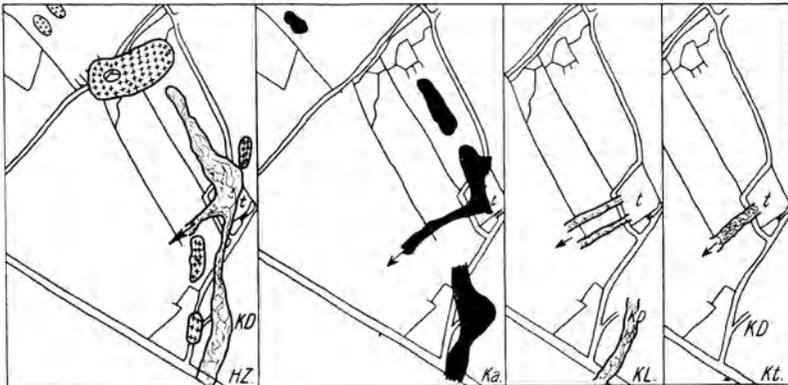


Abb. 90. Geopathogene Zonen in Tetschen-Liebwerd

geologisch völlig aufgeschlossenen Gelände stattfanden. Dabei zeigten die funkgeologische Vermessung und die Rutenbegehung ein völlig gleichartiges Ergebnis.

¹⁾ Über die Physicochemie biologischer Leiter (siehe u. a. Koeniger).

Weiter hat der Verfasser auf der Landwirtschaftlichen Fakultät der Prager Deutschen Technischen Hochschule in Tetschen Versuche unternommen, um den Einfluß der Durchfeuchtung auf die Rutenreaktion festzustellen. Das Ergebnis ist in Abb. 90 dargestellt.

Die Zahl der Reaktionsstellen nimmt von links nach rechts deutlich ab. Parallelmessungen zeigten, daß auch die funkgeologischen Diskontinuitätsstellen abnahmen, da durch Beregnung und dadurch bedingte allgemeine Durchfeuchtung des Untergrundes die zunächst gegebenen elektrischen Diskontinuitäten allmählich ausgeglichen wurden.

Das bisherige Beobachtungsmaterial zeigt somit, daß zwischen der Lage geopathogener Zonen und der funkgeologischen Struktur des Untergrundes gewisse Zusammenhänge bestehen könnten. Diese müssen weiter erforscht werden, ehe insbesondere die Frage der praktischen Verwendbarkeit der Wünschelrute und ähnlicher Indikatoren entschieden werden kann.

4. Sonstige Anwendungen

Wichtige Aufgaben fallen der Funkgeologie bei der Errichtung von Funknetzen für Binnenwasserstraßen zu. Die Versuche, die insbesondere in den letzten Jahren auf der Donau unternommen wurden, haben dazu beigetragen, daß einerseits diese Frage von allen maßgebenden Kreisen diskutiert, andererseits auch funkgeologisch interessantes Beobachtungsmaterial gesammelt wurde.

Der Schiffsfunk hat den Zweck, eine Funkverbindung zwischen Schiffen und Agentien sowie zwischen diesen untereinander herzustellen. Daneben soll er auch die Signaltätigkeit von Posten, Feuern, Bojen usw. unterstützen. Gegenüber dem Drahtfunk besitzt er die größere Anpassungsfähigkeit an die besonderen hier gegebenen Voraussetzungen. Im Verkehr zwischen Land und Schiff kann er natürlich überhaupt nicht ersetzt werden. Der Funkgeologe soll die Ausbreitungsverhältnisse entlang der Wasserstraße studieren und dann folgendes festlegen:

- a) Günstigste Wellenlänge für einen bestimmten, durch nautische und betriebstechnische Voraussetzungen bestimmten Verkehr.
- b) Wahl des günstigsten Aufstellungsplatzes für den Sender, insofern dieser nicht vorgeschrieben ist.

- c) Ermittlung des Strombereiches, den der Sender mit Sicherheit bestreichen kann.

Über die Leitfähigkeit des Flußwassers liegen bisher nur wenige Angaben vor. Es kann daher dieser Punkt vorläufig nicht genau untersucht werden. Gewisse Zusammenhänge bestehen zwischen der Stromgeschwindigkeit und der Leitfähigkeit. Dann kommt es natürlich auf die Breite des Stromes, auf dessen Tiefe, auf die Löslichkeit des Bettungsgesteines und viele andere Faktoren an.

Die Ufergebirge des Stromes absorbieren einen Teil der entlang des Wassers geleiteten Feldenergie. Die Höhe der Absorptionsverluste ist abhängig von der Form des Talquerschnittes, der Leitfähigkeit des Gebirges und der verwendeten Wellenlänge. Über die Leitfähigkeit des Gebirges wurde bereits das Notwendige gesagt. Sie ist in erster Linie von der Hydrologie und auch von der Vegetation abhängig. Da Lösungen aus Erzlagern höhere Leitfähigkeit haben als solche aus taubem Gestein, werden auch größere Erzlager die Ausbreitung beeinflussen. Im Bereich der Welle über 100 m Länge tritt eine Zunahme der Verluste mit steigender Frequenz ein. Unter dieser Grenze treten Anomalien auf, die von funkgeologischen und anderen Faktoren bestimmt werden. Die stärkste Absorption wird dort zu beobachten sein, wo die Berge steil gegen das Ufer abfallen, ganz oder teilweise bewaldet sind und der durch das Gebirge verengte Strom zu gewundenem Laufe gezwungen wird. Nach Regen ist die Absorption natürlich höher, als bei trockenem Wetter.

Im Laufe der letzten Jahre hat der Verfasser auf der Donau Versuchsfahrten von ungefähr 10000 km Gesamtlänge unternommen. Die Versuche wurden auf dem 10-, 20- und 40 m-Bande mit Rundfunk- und langen Wellen angestellt. Das Ergebnis der von ihm und anderen Autoren durchgeführten Untersuchungen kann in folgender Weise zusammengefaßt werden:

- a) Die Leitwirkung der ober- und unterirdischen Flußläufe kommt klar zum Ausdruck.
- b) Die Absorption in engen Flußtälern ist bei langen Wellen stärker zu bemerken, als bei kurzen.
- c) Auf dem Ultrakurzwellenbande ist eine Verbindung zwischen Orten, die sich nicht in optischer Sicht befinden, möglich, wenn diese am gleichen Wasserlaufe liegen.

- d) Gebirgsschatten konnten in engen, gewundenen Flußtälern bei allen Wellenlängen beobachtet werden. Ihre Stärke ist von der Wellenlänge und der Aufstellung des Senders abhängig.
- e) Der Einfluß von Grundwasserströmen kann unter Umständen stärker sein, als der oberirdischer Wasserläufe.

Im Eisenbahnsignal- und Sicherungswesen werden ebenfalls funkgeologische Untersuchungsmethoden mitunter zur Anwendung gelangen. Bisher sind alle diese Anwendungsmöglichkeiten erst Gegenstand von Studien, doch wird in absehbarer Zeit auch mit praktischer Anwendung zu rechnen sein.

In erster Linie kommt der sogenannte Zugfunk in Betracht. Vom Verkehrsstandpunkt unterscheiden wir:

- a) Zug-Postfunk. Dieser dient der Nachrichtenübermittlung von und nach fahrenden Zügen im Anschluß an die vorhandenen Telephon- und Telegraphennetze der Post.
- b) Zug-Verkehrsfunk. Dieser übermittelt von und nach fahrenden Zügen Nachrichten, die der unmittelbaren Aufrechterhaltung des Fahrplanes dienen und durch die Weisungen erteilt werden, deren Befolgung im Interesse eines geregelten Verkehrs nötig erscheint. Durch diesen Dienst soll schließlich insbesondere der Eintritt unvorhergesehener Ereignisse angezeigt werden, die einen Einfluß auf die Sicherheit und Fahrplanmäßigkeit des Verkehrs ausüben.
- c) Zug-Signalfunk. Dieser kann entweder das Signalbild bestehender Signale in optischer oder akustischer Weise an Bord des fahrenden Zuges darstellen und gegebenenfalls die durch diese übermittelten Befehle durch Beeinflussung der Steuerungsorgane der Antriebsmittel ausführen, oder er kann auf einer selbständigen Grundlage errichtet werden.

In die letzte Gruppe gehören auch die Signalanlagen, die für eine kleinere Reichweite ausgeführt werden, wie z. B. die Signalmittel für Abrollanlagen.

Vom technischen Standpunkte aus müssen wir unterscheiden zwischen:

- a) Leitungsgerichtete Übertragung. Sender und Empfänger sind durch die vorhandene Telegraphenstraße oder —

dort, wo diese fehlt -- durch eigene Leitungen induktiv gekoppelt. Das System arbeitet sicher, ist aber sehr unwirtschaftlich.

- b) Freie Übertragung.
- c) Gemischte Übertragung. Normalerweise erfolgt die Übertragung frei. Dort, wo aber die Voraussetzungen für die freie Übertragung ungünstig sind, wird unter Verwendung der Leitungsstraße oder einer eigenen Leitung gerichtet gearbeitet. Die Hilfsleitung kann unter Umständen mit eigener Antenne oder Empfangsanlage ausgestattet sein.

Die Übertragung kann in zweierlei Weise erfolgen:

- a) Der Geber wird mit einem Funksender und der Empfänger der Nachricht mit einem Funkempfänger ausgerüstet.
- b) Der Empfänger betreibt einen Sender, dessen Antenne durch einen Absorptionskreis beeinflußt wird, den der Geber bedient.

Beim Zug-Verkehrs- und -Postfunk wird in der Regel mit Graphie und Phonie zu arbeiten sein. Beim Zug-Signalfunk genügt Tastung. Die Sender (bzw. Absorptionskreise) beim Zug-Verkehrs- und Zug-Signalfunk sind in der Regel an bestimmte Punkte der Strecke gebunden. Beim Zug-Postfunk besteht diese Bindung nicht.

Der Funkgeologe hat nun folgende Aufgaben zu lösen und zu diesem Zweck zunächst die Ausbreitungsverhältnisse entlang der Strecke zu studieren:

- a) Bei gegebenem Senderorte ist die günstigste Wellenlänge und Senderleistung für eine bestimmte vorgeschriebene Reichweite zu ermitteln. Unter Umständen ist anzugeben, ob die Errichtung von Zwischensendern nötig erscheint.
- b) Ist der Senderort nicht bestimmt, so ist er nach funkgeologischen Gesichtspunkten zu wählen.
- c) Es sind die Streckenabschnitte anzugeben, in denen eine freie Übertragung nicht mehr betriebssicher arbeiten kann und in denen daher Hilfseinrichtungen anzubringen sind.

Die Gesichtspunkte, nach denen der Funkgeologe in solchen Fällen vorzugehen hat, sind ähnlicher Art wie bei Schiffsfunk. Es handelt sich wieder um eine Übertragung entlang von Leitern. Als solche Leiter kommen wieder in Betracht: die Erdoberfläche, die Schienen- und Telegraphenstraße. Man kann häufig merken, daß der Schienenstraße eine besondere Bedeutung zugeschrieben wird.

Die Versuche, die nun einerseits auf den CSD-, andererseits in Grubenstrecken, die mit Gleisen ausgerüstet waren, durchgeführt wurden, haben diese Angabe aber nicht bestätigen gekonnt. In erster Linie kommt wieder die Beschaffenheit der Erdoberfläche in Betracht. Da die Bahnen in der Regel in Flußtäälern trassiert sind, so sind sogar ähnliche Gesichtspunkte zu beobachten, wie wir sie eben beim Schiffsfunk besprochen.

Die Absorption des Feldes erfolgt wieder durch die Gebirge, die die Bahnstraße einsäumen. Sie ist also abhängig von:

- a) der Form des Talquerschnittes,
- b) von der Trassierung (Einschnitte, Dämme, Tunnels usw.) und
- c) von Verkehrser eignissen (Vorbeifahrt an Gegenzügen usw.).

Einige Versuchsergebnisse wurden schon früher (S. 44) besprochen. Man kann das bisher vorliegende Beobachtungsmaterial etwa folgendermaßen zusammenfassen:

- a) Der Empfang ist in erster Linie von der funkgeologischen Beschaffenheit der obersten Erdschicht abhängig. Die Verhältnisse liegen ähnlich wie bei Wasserstraßen.
- b) Die Schienenstraße übt eine verhältnismäßig geringfügige Wirkung aus.
- c) Die Leitungen üben oft je nach ihrem Durchhang und ihrem Abstand von der Gleismitte und vom Erdboden eine von der Zugsgeschwindigkeit abhängige rhythmische Modulation auf die Empfangslautstärke aus.

Die Verhältnisse in Tunnels liegen ähnlich jenen in untertägigen Strecken. Da die Leitungsstraße in der Regel verkabelt ist, so kommen nur die Schienen in Betracht. Der größere Teil der Feldenergie dringt in längere Tunnels nicht durch die Portale, sondern durch das Gebirge ein. Dies beweist der Umstand, daß die Abhängigkeit des Empfanges ähnlich ist wie die in unterirdischen Hohlräumen. Eine gewisse Leitwirkung kann aber der Rußschicht zukommen, die die Tunnelwandung überkleidet. Auch feuchte Überzüge können eine solche Wirkung ausüben.

Außer den hier erwähnten Anwendungsmöglichkeiten gibt es noch andere, die heute erst im Stadium der ersten Entwicklung stehen. Sie dürften in absehbarer Zeit weitere Beziehungen zwischen der Funkgeologie und anderen Wissensgebieten herstellen und damit neue Grenzgebiete schaffen.

Anhang: Tafeln

Tafel I. Trockenwiderstände nach Loewy

Gesteine	Fundort	DK	Leitfähigkeit ¹⁾
Granit	Okertal (Harz)	7—8	$< 10^2$
„	Mitweida	8—9	$< 10^2$
„	Fuchsberg bei Striegau (Schlesien)	8	$< 10^4$
„	Steinerne Rinne	8	$< 10^2$
„	Limbach bei Penig	—	10^6
Hornfels	Nordost-Gehänge des großen Winterberges	7—8	10^3
Syenit	Ratssteinbruchi. Plauen- schen Grunde bei Dresden	—	10^7
Syenit (granitartig)	Plauenscher Grund	13—14	10^3
Eläolithsyenit	Ditrobach bei Ditro (am rechten Ufer)	8—9	$< 10^2$
Basalt	Kalbe am Meißner	12	$5 \cdot 10^4$
Melaphyr	Schneidemüllerskopf (Kammersberg)	13	10^4
Glimmermelaphyr	Lehnberg bei der Elbers- burg (Südharz)	14—15	etwa 10^4
Diorit	Lemberg	9—10	$2 \cdot 10^4$
Tonporphyr	Bei Elend a. der Chaussee nach Andreasberg	13	$7 \cdot 10^3$
Diabas	Koblenz	—	$5 \cdot 10^4$
Trachyt	Monte Civino	8—9	$< 10^2$
Gabbro	Weilburg (Nassau)	—	10^7
Serpentin	Breiterberg bei Wald- heim	—	$3 \cdot 10^7$
Gneiß	?	8—9	$< 10^4$
Feinkörniger grauer Gneiß	Annaberg	11—12	10^2
Gneiß	MontBrevent (Chamouny)	14—15	$< 10^4$
Gneiß mit Hornblende ..	Liebenstein (Thüringer Wald)	12	$< 10^4$
Diorit-Gneiß	Borntal (Kyffhäuser- Gebirge)	14—15	$5 \cdot 10^4$
Glimmerschiefer	Riffelberg bei Zermatt	—	$< 5 \cdot 10^3$
„	Trusental b. Brotterode	16—17	10^3
Phyllit	Tapia, St. Louis (Argen- tinien)	13	$< 10^4$
Quarz-Phyllit	Yerba buena bei Tapia (Argentinien)	8—11	$< 10^4$
Quarzschiefer	Weg von Mina vieja nach Bajs de Vilis (Argen- tinien)	9	$6 \cdot 10^3$
Anhydrit	Westlich Walkenried (Harz)	7	$< 10^2$

$$^1) \text{ Leitfähigkeit} = \frac{10^{13}}{\text{Widerstand in } (\Omega \cdot \text{cm})}$$

Tafel I (Fortsetzung)

Gesteine	Fundort	DK	Leitfähigkeit
Stringocephalenkalk (Mitteldevon)	Lindener Mark (bei Gießen)	8—9	$< 10^2$
Körniger Kalk in Phyllit lagernd.....	Unteres Martilltal (Ortlergebirge)	8—9	$< 10^2$
Unterer Muschelkalk ...	Hardeggen bei Göttingen	12	$< 10^2$
Wuestengartenquarzit ...	Sandberg bei Übertal	7	$5 \cdot 10^2$
Mittlerer Buntsandstein .	Südost-Hang d. Benther Berges bei Hannover	9	10^2
Schilfsandstein	Stuttgart	11	$2 \cdot 10^3$
Grauwacke	Brandhai s. Straße von Sorge nach Braunlage	9—10	$5 \cdot 10^2$

Tafel II. Trockenwiderstand einiger Erze und Kohlen nach Loewy

Gesteine	Fundort	Leitfähigkeit
Magnetkies	Bodenmais (Bayern)	$2 \cdot 10^{14}$
Magneteisenerz (Rutsch- fläche).....	Dannemora (Schweden)	10^{13}
Magneteisenerz	St. Christoph zu Breiten- brunn in Sachsen	10^{12}
Glanzeisenerz mit Magnet- eisenerz	Gellivaara (Schweden)	$5 \cdot 10^{10}$
Bleiglanz (Bleischweif)....	Freiberg	$2 \cdot 10^{13}$
Bleiglanz	?	$2 \cdot 10^{12}$
Buntkupfererz	Chile	$2 \cdot 10^{13}$
Kupferkies	Kunz Kupfergrube auf Jeso (Hokkaido, Japan)	$5 \cdot 10^{13}$
Schwefelkies	Rio (Insel Elba)	10^{14}
Molybdänglanz	Kingsgate bei Gleen Innes (Neusüdwaales)	$2 \cdot 10^{11}$
Brauneisenstein mit Spat- eisensteinkern	Grube Jean bei Wetzlar	10^4
Roteisenstein (79,5 Fe)....	Grube Eleonore bei Wetzlar	10^4
Oolithisches Roteisenerz ...	Canada	$2 \cdot 10^6$
Blutstein	Platten (Böhmen)	$2 \cdot 10^5$
Zinnober	Idria (Krain)	$< 5 \cdot 10^3$
Zinkblende	Freiberg (in Sachsen)	$7 \cdot 10^4$
Wolframit	Zinnwald bei Altenberg (Erzgebirge)	10^6
Steinkohle	?	$< 5 \cdot 10^3$
Braunkohle.....	?	$< 5 \cdot 10^3$

Tafel III. Widerstand und DK des Eises
(Granier, J., C. R. 179, 1313ff., 1924)

Frequenz Hertz	Widerstand Ω/cm^3	DK
6,700 000	$2,6 \cdot 10^4$	2,05
260 000	2,5	2,05
5 400	2,7	12
320	$2,3 \cdot 10^5$	86
4,3	$> 10^7$	153

Tafel IV. Widerstand einiger Flüssigkeiten.

Leiter	Widerstand Ω/cm^3	Autor	Literatur
Destilliertes Wasser ..	$26 \cdot 10^3$	H. Hlauschek	} Z. prakt. Geologie 1927, Heft 2.
Salzhaltige Wässer ...	von 5 bis 100	H. Hlauschek	
Normale Grundwässer	von $3 \cdot 10^3$ bis $15 \cdot 10^3$	H. Hlauschek	
Erdöle	von 10^{11} bis 10^{18}	J. Königsberger	Petroleum 22, 35ff. (1926).

Tafel V. Widerstand der Kotterbacher Grundwässer nach Fritsch

	Wasser aus dem Erze g/10 Liter	Wasser aus dem Tauben g/10 Liter
Teufe.....	100 m	280 m
Analyse: ges. S	3,6720	0,0536
SO ₂	0,0240	0,0022
Fe ₂ O ₃	0,0143	0,0074
Mn ₂ O ₄	0,0254	0,0007
CaO	1,9310	0,7700
MgO	5,3450	0,6240
Widerstand, bezogen auf eine 1%ige HCl-Lösung	0,9	3,1

Tafel VI. Einteilung der geologischen Leiter nach Loewy
(Naturwissenschaften 15, 921ff., 1927)

	Trockenes Gestein	Öldurchtränktes Gestein	Süßwasserführend	Salzwasserführend	Erz *)
DK.....	7	7...80	80	80	< 80
Leitfähigkeit σ .	10^3	10^3	10^8	10^{11}	10^{13}

*) Diese Angaben können allerdings nur für bestimmte Erze gelten.
(Anm. des Verfassers.)

Tafel VII. Einige Widerstandsdaten geologischer Leiter
Zusammenstellung nach H. Reich [Handbuch der Experimentalphysik 1930
bei Akad. Verlagsges. m. b. H., Leipzig, 25 (III), S. 36ff.]

a) Gesteine

Leiter	Trockenwiderstand Ω/cm^3	„Angefeuchtet“ Ω/cm^3
Diabas.....	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^4$
Dolomit.....	$> 5 \cdot 10^6$	$4,6 \cdot 10^5$
Granit.....	$1,1 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^4$
Sandstein.....	$7,7 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^5$
Tonschiefer.....	$1,4 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^5$
Kalk.....	$1,3 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^7$
b) Erze *)		
Sulfiderze mit 5...50% Erzgehalt.....	$2 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^5$	1...8
Gesteine mit weniger als 5% Erzgehalt...	$\sim 2 \cdot 10^{10}$	$\sim 8 \cdot 10^5$
Pyriterze.....	$\sim 10^4$	0,1
Graphitschiefer.....	~ 350	$\sim 0,5$

*) Erste Spalte Höchst-, zweite Spalte Mindestwerte.

c) Einfluß der Durchfeuchtung auf den Widerstand

Einzelkristalle von Sulfiden.....	$\sim 0,001 \dots 1 \Omega/\text{cm}^3$
Derbe Sulfiderze.....	~ 100
20% Na Cl-Lösung.....	~ 5
Sandstein mit 26% Porenvolumen, erfüllt mit 20% Na Cl-Lösung.....	~ 30
Normale feuchte porenreiche Sedimente.....	$\sim 10,000 \dots 100,000$
Porenarme, feste Gesteine.....	$\sim 10^5 \dots 10^6$

Tafel VIII.
Leitfähigkeit und DK-Angaben nach Smith-Rose

Material	Teufe in m	Feuch- tigkeit in %	Leitvermögen in abs. ESE bei		ε bei $10 \cdot 10^6$
			$\nu_1 = 1,2 \cdot 10^5$ Hertz	$\nu_2 = 10 \cdot 10^5$ Hertz	
Kalk	0,61	24	$0,4 \cdot 10^8$	$0,64 \cdot 10^8$	21
	1,51	26	1,7	1,1	38
	0,91	27	0,87	0,64	29
	3,03	27	1,6	2,0	34
Blaue Tonerde	3,03	23	6,9	8,3	29
	0,91	25	10,0	13,0	46
	3,03	25	7,5	11,0	40
	0,91	27	8,5	14,0	75
Tonerde und Sand	1,51	21	7,0	9,8	42
	0,61	26	9,0	13,0	48
Lehm	0	22	0,67	1,0	25
Faseriger Lehm	0	21	0,93	1,3	23
Dark fibrous loam	0	60	3,9	6	54
Kalkiger Lehm	0,3	21	0,81	0,9	25
Lehm und Tonerde	0,3	13	1,3	1,5	21
Lehm (Clay)	0,3	33	7,2	8,8	43

Tafel IX. Widerstände nach Haalek
in Ω/cm^3

Quarz	10^{14}
Braunkohle	$> 10^9$
Roteisenstein	$> 10^6$ bis 10^9
Sandstein	10^4 „ $> 10^{11}$
Schieferton	10^5 „ $> 10^6$

Tafel X.
Widerstände einiger geologischer Leiter nach Fritsch

Geologischer Leiter	Fundort	Trocken- widerstand	Feuchter Widerstand	Bemerkung
		R_t	R_f	
		in $M\Omega/cm^3$		
Basalttuff	Winařitz bei Prag	1600	10	
Hämatit	Nučice b. Prag	0,17	0,08	
Quarzemenge	—	1300	1,5	
Spateisenstein.	Kotterbach in d. Slowakei	400	gering	
Sandstein Mittel-Oligocän	Mittelgebirge, böhmisch- sächs. Grenze	10	0,1	normalfeucht 1
Schwerspat- gemenge	Kotterbach in d. Slowakei	800	gering	
Schiefer	do.	1,2	0,3	
Sandstein- einlagerung in Bakuliten- mergel	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 bei Brünn	1,2	0,3	

Tafel XI.

a) Spezifischer Widerstand von Böden
nach Krönert

Bodenart	Spez. Widerstand Ohmmeter
Sandboden	50—10 000
Sandiger Lehm	20—330
Lehmboden	15—250
Humoser Sand }	10—50
Moorboden }	

b) Spezifischer Widerstand von Böden nach Henney

Gruppe	Bodenart	Feuchtigkeits- gehalt bei Wassersättigung	Spez. Wider- stand der ge- sättigten Böden bezogen auf 18° C	Spez. Wider- stand des ge- wachsenen Bo- dens bei ver- schiedenem Feuchtigkeits- gehalt
		Gewichts-%	Ohmmeter	Ohmmeter
1	Nährstoffarme Sande (weiß bis gelb)	18 —25	160—380	50—10000
2	Nährstoffreiche Sande (braun und grau)	20 —25	90—200	
3	Lehmhaltige Sande	17 —25,5	60—130	
4	Sande aus Grundwasser	17,5—26	30—65	
5	Lehme	20 —37	15—60	15—250
6	Humus und Niederungs- moorböden bei ver- schiedenem Kalkgehalt	35 —85	10—25	10—50

c) Ergebnisse der Widerstandsmessungen an Lehm- und
Moorböden nach Henney

Lehme		Moorböden		
Wassergehalt bei Sättigung	Spez. Widerstand bei 18° C	Wassergehalt bei Sättigung	Gehalt an Ca Co ₃	Spez. Wider- stand bei 18° C
Gewichts-%	Ohmmeter	Gewichts-%	Gewichts-%	Ohmmeter
20,3	59	35,6	10	23
32,2	40	58,3	46	21
37,2	35	84,5	—	20
28,0	28	80,7	73	16,5
31,4	15	77,0	50	12,7

Tafel XII.

Elektrische Eigenschaften verschiedener Böden nach Horváth
(Leitfähigkeit der Vergleichslösung: gesättigte Gipslösung = 0,001891)

Bodentypus	Tiefe in cm	Farbe der Probe	Leitfähigkeit	
I. Waldböden	0—10	blaßgelb	46,25	
	25—50	farblos	24,45	
	0—10	farblos	80,30	
	10—20	„	54,26	
	1. Grauer Waldboden	20—30	„	43,77
		30—40	„	55,17
		40—50	„	80,49
		50—60	„	136,55
		0—15	blaßgelb	144,38
	2. Brauner Waldboden	30—60	farblos	20,81
II. Steppenböden				
1. Wiesenton	0—20	blaßgelb	88,23	
	20—35	farblos	66,62	
2. Schwarzer Steppenboden	0—10	blaßgelb	133,75	
	10—20	„	98,27	
	20—30	„	80,90	
	30—40	farblos	72,70	
	60—70	„	75,79	
	90—100	„	56,38	
3. Brauner Steppenboden	Oberboden, Niveau unt. der Ackerkrume	farblos	159,65	
	„	„	119,67	
	0—10	blaßgelb	43,16	
	10—20	farblos	34,88	
	20—35	„	31,81	
	35—50	„	38,97	
	50—75	„	40,50	
	75—90	„	47,98	
	90—110	„	47,85	
	4. Salzboden	110—140	„	63,86
Niveau A		blaßgelb	290,96	
„ B		farblos	181,46	
„ C		„	186,74	
0—15		dunkelbraun	369,50	
15—30		„	794,38	
30—45		braun	583,37	
50—70	farblos	398,65		
III. Nicht zonale Böden				
1. Alluvialer Boden	Oberboden	gelb	1047,52	
	0—20	farblos	33,14	
	20—50	„	23,58	
2. Sandboden	vom 159 m hohen Hügel	farblos	137,21	
	10—20	gelb	249,49	

Tafel XIII. Erdwiderstandsmessungen nach K. Berger

a) Schwankungen von Erdungswiderständen in verschiedenen Bodenarten unter dem Einfluß der Witterung, ermittelt in einer Tiefe von 0,5 bis 0,7 m unter der Erdoberfläche. Mittelwert aus etwa 50 Messungen = 100 %. Die Schwankungen sind in % angegeben. [SEV.-Bull. 27, 145ff. (1936).]

Lehm	76—145%
Torf	68—135%
Molasse-Sandstein	76—130%
Steinige Erde (Obermoräne)	78—132%
Molasse-Nagelfluh	80—158%
Steinige Erde (Grundmoräne)	68—138%
Kies (zeitweise im Grundwasser)	30—200%
Kies (etwa 0,5—2 m über Grundwasser)	50—348%
Kies (etwa 50 m über Grundwasser)	52—141%
Jurakalk	59—137%

b) Schwankungen des spezifischen Widerstandes verschiedener Bodenarten unter dem Einfluß der Witterung, ermittelt an zwei Erdungen in einer Tiefe von 1 bis 1,5 m; Mittelwert aus etwa 50 Messungen = 100 %. Die Schwankungen sind in % angegeben.

Lehm	80—120%
Torf	90—125%
Molasse-Sandstein	75—128%
Steinige Erde (Obermoräne)	78—126%
Molasse-Nagelfluh	80—140%
Steinige Erde (Grundmoräne)	74—125%
Kies (zeitweise im Grundwasser)	40—168%
Kies (etwa 0,5—2 m über Grundwasser)	58—162%
Kies (etwa 50 m über Grundwasser)	70—146%
Jurakalk	78—140%

c) Spezifische Widerstände verschiedener Bodenarten aus den Messungen zweier Jahre an zwei Erdungen in einer Tiefe von 1 bis 1,5 m unter der Erdoberfläche in Ohm · cm.

Lehm	etwa 3
Torf	„ 4
Molasse-Sandstein	6—12
Steinige Erde (Obermoräne)	5—14
Molasse-Nagelfluh	14—27
Steinige Erde (Grundmoräne)	10—16 und 17—28
Kies (zeitweise im Grundwasser)	11—56
Kies (etwa 0,5—2 m über Grundwasser)	16—48
Kies (etwa 50 m über Grundwasser)	42—96
Jurakalk	45—97

Tafel XIV.

Veränderung des Widerstandes mit der Durchströmungsrichtung

- a) Nach Rooney (W. J. Rooney, Terr. Magn. **32**, 98ff., 1927).
 Mittelwert des Trapp senkrecht zum Streichen 280 000 Ω/cm^3
 „ „ „ „ im Streichen 214 000 Ω/cm^3
 Sandstein, tiefere Lagen $\sim 40000 \Omega/\text{cm}^3$
 „ höhere „ $\sim 18000 \Omega/\text{cm}^3$
- b) Nach Sundberg, K., Lundberg, H. und Eklund, J. (Sver. Geol. Muders Årsbok, **17**, C. No. 327ff., 1923) ist der Widerstand des Erzes senkrecht und parallel zum Salband verschieden. Beispiele:
- | | Senkrecht Ω/cm^3 | Parallel |
|--------------------|--------------------------------|----------|
| Polybasiterz | 400 | 0,1 |
| Bleizinkerz | 36 000 | 0,1 |
- c) Nach J. Koenigsberger.
 Portlandschiefer, parallel zur Schieferung $52 \cdot 10^4$
 „ senkrecht zur Schieferung ... $12 \cdot 10^6 \Omega/\text{cm}^3$
- d) Nach A. Ebert (geol. Rundschau **18**, 398ff., 1927).
 Paläozoischer Tonschiefer, parallel zur Schieferung $2 \cdot 10^5 \Omega/\text{cm}^3$
 „ „ senkrecht zur Schieferung $1,5 \cdot 10^6$

Tafel XV. Reichweiten im Wasser nach K. Brüne

(Dissertation Jena 1937)

Berechnete Reichweiten (im Anschluß an die beobachteten)

Leitfähigkeit σ des Wassers in $\text{Ohm}^{-1} \text{cm}^{-1}$ a) Reichweiten für $J_0/J = 10^3$

λ^m	$\sigma = 10^{-6}$	$\sigma = 10^{-5}$	$\sigma = 10^{-4}$	$\sigma = 10^{-3}$	$\sigma = 10^{-2}$
10^5	$3,39 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^5$	$3,18 \cdot 10^4$	$1,00 \cdot 10^4$	$3,18 \cdot 10^3$
10^4	$1,74 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^4$	$7,09 \cdot 10^3$	$3,18 \cdot 10^3$	$1,00 \cdot 10^3$
10^3	$1,24 \cdot 10^5$	$1,74 \cdot 10^4$	$3,39 \cdot 10^3$	$1,01 \cdot 10^3$	$3,19 \cdot 10^2$
10^2	$2,05 \cdot 10^4$	$1,19 \cdot 10^4$	$1,67 \cdot 10^3$	$3,33 \cdot 10^2$	$1,00 \cdot 10^2$
10	$4,24 \cdot 10^2$	$4,21 \cdot 10^2$	$3,45 \cdot 10^2$	$1,25 \cdot 10^2$	32
1	4,35	4,35	4,35	4,1	3,45
10^{-1}	0,0437	0,0437	0,0437	0,0437	0,0436
b) Reichweiten für $J_0/J = 10^6$					
10^5	$6,76 \cdot 10^5$	$2,02 \cdot 10^5$	$6,35 \cdot 10^4$	$2,01 \cdot 10^4$	$6,35 \cdot 10^3$
10^4	$3,48 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^4$	$2,18 \cdot 10^4$	$6,36 \cdot 10^3$	$2,00 \cdot 10^3$
10^3	$2,47 \cdot 10^5$	$3,48 \cdot 10^4$	$6,78 \cdot 10^3$	$2,02 \cdot 10^3$	$6,38 \cdot 10^2$
10^2	$4,1 \cdot 10^4$	$2,38 \cdot 10^4$	$3,34 \cdot 10^3$	$6,67 \cdot 10^2$	$2,01 \cdot 10^2$
10	$8,43 \cdot 10^2$	$8,43 \cdot 10^2$	$6,9 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	63
1	8,7	8,7	8,7	8,2	6,9
10^{-1}	0,0874	0,0874	0,0874	0,0874	0,0872

Tafel XVI. Reichweiten im Gebirge nach Doborzynski

Leitfähigkeit in Ohm ⁻¹ cm ⁻¹ und DK des Feld- raumes	20 000 m	2000 m	300 m	20 m	2 m
Erz $\sigma = 5,10^5$ $\epsilon = \infty$	0,058 cm	0,0184 cm	0,0058 cm	0,00184 cm	0,000 58 cm
Meerwasser $\sigma = 10^{-2}$ $\epsilon = 80$	4,12 m	1,30 m	41,2 cm	13 cm	5,3 cm
Boden $\sigma = 10^{-4}$ $\epsilon = 14$	41,2 m	13 m	4,12 m	2,12 m	2 m
Boden $\sigma = 10^{-5} - 10^{-6}$ $\epsilon = 5$	420 m	159 m	118,5 m	118,5 m	118,5 m

Tafel XVII.

Empfang in der Mamuthöhle in Kentucky, U. S. A. nach A. S. Eve
(Techn. Publ. of the American Institute of Mining and Metallurgical
Eng. N. Y. 316)

Sender	km	Entfernung
Cincinnati	429	320 km
Louis Ville	366	144 „
Nashville	461	160 „

Tafel XVIII.

Empfang in der Höhle von Ojcow in Polen nach Doborzynski

Band	Sendestation	Empfangsergebnis		Bemerkungen
		2. 10. 37	3. 10. 37	
49 m	Moskau 50 m	20 ^h r 3/4		
	Zeesen DJC 49,83 m ...	19 ^h r 4/3		
	Belgrad 49,18 m	19 ^h r 3/2		
31 m	Madrid 31,70 m	23 ^h r 2		Auch zahlreiche Maschinen-Tele- graphen und Amateursender wurden emp- fangen
	Daventry 31,55 m	19 ^h r 4/5 23 ^h r 3		
	Zeesen DJN 31,45 m	16 ^h r 3/4	10 ^h 30-12 ^h r 2/3	
	Zeesen DJA 31,38 m ..			

Tafel XVIII (Fortsetzung)

Band	Sendestation	Empfangsergebnis		Bemerkungen
		2. 10. 37	3. 10. 37	
31 m	Millis U. S. A. 31,35 m (Boston Westinghouse-Sender WIXR) und mehrere, nicht genau identifizierte spanische und amerikanische Sender	24 ^h r 1/2		Auch zahlreiche Maschinen-Telegraphen und Amateursender wurden empfangen
29 m	Brüssel 29,04 m	19 ^h 30 r 4		
25 m	Daventry 25,53 m Rom 25,40 m Paris (Radio Colonial) 25,23 m Moskau 25,00 m Motala?	19 ^h 30 r 1/2 18 ^h r 5 20 ^h r 6 16 ^h r 3/4 18 ^h 30 r 3 18 ^h 30 r 1/2	11 ^h r 3/4 12 ^h r 4 12 ^h r 1/2 12 ^h r 1/2	Auch zahlreiche Maschinen-Telegraphen und Amateursender wurden empfangen
19 m	Kein Telephonempfang. Nur auf den Wellenlängen 19, 20, 21 m waren schwache telegraphische Zeichen zu hören (r 3/2)			

Tafel XIX. Empfangsergebnisse unter Tags nach Fritsch

Ort	Teufe etwa	Sender	μm	Lautstärke „r“
Kotterbach	50 m	Königswusterhausen	1634	3
„	„	Budapest*	550	4...5
„	„	Warschau	1412	3
„	„	Wien 20 kW	517	3
„	„	Warschau	1412	8...9
„	„	Budapest*	550	5...6
„	„	Wien 20 kW	517	3...4
„	225 m	Königswusterhausen	1634	7...8
„	„	Warschau	1412	8...9
„	„	Budapest*	550	3...4
„	140 m	Königswusterhausen	1412	4
„	„	Budapest*	550	1
„	300 m	Warschau	1634	7...8
„	„	Königswusterhausen	1412	3...4
„	„	Budapest*	550	1...2

* Alter Sender.

Tafel XIX (Fortsetzung)

Ort	Teufe etwa	Sender	z ^m	Lautstärke „r“ ¹
Kotterbach	100 m	Prag	487	5...6
„	„	Oslo	1083	3
„	„	München	533	3
„	„	Wien	517	4...5
„	„	Budapest*	550	5
Poráč	50 m	London	25,29	4...5
„	„	Rom	21,13	4...5
„	„	Paris	25,23	4...5
Punkwahöhle	130 m	Brünn*	878	6
„	„	Wien*	581	8
„	„	Budapest*	545	6
Ungargrube	20 m	Rom	21,13	3...5
„	„	London	25,29	5

* Alter Sender.

Tafel XX.

Empfangsergebnisse in der Kataraktenengstrecke der Donau
(Kazanpaß) nach Fritsch-Woletz (Oktober 1930)

Schiffsort km	Sender	Zeit (MEZ)	Lautstärke
496	UO 5 ld	15 ^h 45	6
496	HAF 3 cx	21 30	4
496	F 8 rsb	früh	3
950	ZL 2 gq	7 ^h 00	6/7 ¹)
953	OK 1 na	7 00ff.	8/9
960	UO 3 wb	9 00ff.	7/8
Kazanpaß	UO 6 rs	9 00ff.	7
983	SP 2 bw	10 00	7
983	HAF 3 cx	10 00ff.	8/9
988	SP 3 bw	10 00ff.	8
992	D 4 wme	10 00ff.	7/8
995...1001	UO px	11 00	7/8
1001	I 1 as	11 00ff.	4
1001ff.	UO 3 js	11 00ff.	7
1003	I 1 as	11 00ff.	7

¹) Lautstärke am Empfänger in Olmütz zur gleichen Zeit r 3/4.

Literaturliste

Bezeichnungen bei Liste I

- Spalte R: V = Versuche mit verschiedenen Wellenlängen.
 K = Versuche mit kurzen Wellen.
 M = Versuche zur Bestimmung der Eigenschaften geologischer Leiter.
 T = Untersuchungen über Ausbreitung elektrischer Wellen (auch theoretische).
 F = Funkmutung.
 A = Allgemeine Fragen der Funkgeologie und für die Funkgeologie wichtige funkphysikalische Arbeiten.
- Spalte Ph: Ph = Physicochemische Angaben.
 G = Geophysikalische Angaben.
 M = Meßverfahren (außer Funkmutung).
 A = Sonstiges.
 H = Handbücher der Funktechnik und ihrer Hilfswissenschaften.

In der Regel wird nur der wesentlichste Inhalt bezeichnet. Besonders ausführliche Darstellungen eines Spezialgebietes sind mit * bezeichnet.

I. Im Text angeführte Arbeiten

Verfasser	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahrgang	Seite	Ph	R	
Ambrohn, R.	Methoden der angew. Geophys., Wissenschaftl. Forschung (Naturw. Reihe)	1928	15	5	G M	F	1) Besonders Funkpeilung
Anderle	Radiowelt	1924		Nr. 14 Nr. 15		V T	
Beck, H.	Phys. ZS.	1933	34	721	Ph		
Brake, E. und Schuetze, H.	E. N. T.	1935	12	120			
Brown	Proc. Inst. Rad. Eng.	1935	23	168			
Cloos	ZS. f. Geophys.	1934	10	552		M A	
Debye, P.	Polare Molekeln (erschienen bei Hirzel, Leipzig)	1929			Ph*		
	Phys. ZS.	1928	29	121 401 1934 35 101	Ph Ph Ph		

Verfasser	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahrgang	Seite	Ph	R	
Devik, O.	Hochfrequenztechnik u. E.	1934	43	205		T	1) Feldtlagnose
Doborzynski, D.	Hochfrequenztechnik u. E.	1936	47	12		V	
	Przeglad Radjot.	1936	H.	7—8		A V	
	Przeglad Gorn. Hutn.	1937				A V	
Englund, C. R., Crawford, A. B., Mumford, W. W.	The Bell-System Techn. J.	1935	14	369		A	
Epstein, P.	J. f. drahtlose Tel.	1910	4	176		A	
Esau, A., Köhler, W.	Hochfrequenztechnik u. E.	1933	41	153			
Eve, A. S.	Techn. Publ. of the American Inst. of Mining and Metallurgic. Eng. New York	—	—	Nr. 316		V T A	
	Nature	1927	120	13		V A	
	Proc. Inst. Radio Eng.	1929	17	347		V A	
	Proc. Inst. Radio Eng.	1929	17	347		V A	
Falkenhagen, H., Debye, P.	Phys. ZS.	1928	29	121	Ph		
Fritsch, V.	Siehe Liste: Arbeiten des Verfassers						
Granier, J.	C. R.	1924	179	1313	G*		2)
Haalck, H.	Lehrb. d. angew. Geophysik (erschieden bei Borntraeger in Leipzig)	1934	—	—	Ph G M	F	2) Eigenschaften des Eises

Verfasser	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahrgang	Seite	Ph	R	
Haalck, H.	Gerlands Beitr.	1929	23	99	G		
Haas, De, W. und Mitarbeiter	Handb. d. Funktechn. (erschieden bei der Franckhschen Ver- lagshdlg. i. Stuttg.)	von 1934	—	—	H		
Hack, F.	Ann. d. Phys.	1908	27	43		T*	
Henney, K. A.	Techn. Mitt. d. Stu- diengesellschaft für Höchstspannungs- anlagen	1935	—	Nr. 69	Ph*		1)
Horvath, B. von	Int. Mitt. f. Boden- kunde	1916	—	230	Ph*		1)
Hummel, J. N.	ZS. f. Geophys.	1929	5	89 104	G		1) Eigenschaften des Untergrundes
	Zbl. f. Min., Geol. u. Pal.	1924	—	66	G		
	Beitr. f. angew. Geo- phys.	1935	5	32	G* Ph*	A	
Jeżewski, M.	Ph _{ys.} ZS.	1933	34	88	M		
Jeżewski, M. u. Kamecki, I.	Phys. ZS.	1934	35	561	M		
Koeniger, A.	Strahlentherapie	1936	57	535	Ph		
	Int. Kongr. f. Kurz- wellen 1937. Ber.	1937	—	131	Ph		
Koenigsberger, J. G.	D.R.P. 444506	—	—	—	G		
	ZS. f. Geophys.	1929	5	289	G		
	ZS. f. int. Bohrtechn.	1925	34	1324	G		

Verfasser	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahr- gang	Seite	Ph	R	
Koenigsberger, J. G.	Petroleum	1926	22	35	G	G	
	Phys. ZS.	1930	31	487	G		
	Beitr. f. angew. Geophys.	1933	3	463	G Ph M*	A	
	ZS. f. prakt. Geologie	1922 1926	33 152	G G	A A	
Kroencke, H.	Physikbüchlein (erschienen b.d. Franckh'schen Verlagshandlung in Stuttgart)	1925				F	
Kuehlewein, H.	ZS. f. techn. Physik	1929	10	280	Ph		
Kunze- Burkhard	Gerlands Beitr.	1935	45	178		V K	
Lattey, R. u. Davies, W. G.	Phil. Mag. (7)	1931	12	1019 1111	Ph		
	Phil. Mag. (7)	1932	13	444	Ph		
Leimbach, G.	DRP. 273339	—	—	—		F	
	DRP. 278835	—	—	—		F	
	DRP. 281612	—	—	—		F	
Leimbach, G. u. Mayer, E.	Phys. ZS.	1913	14	447		F A	
Leimbach, G. s. a.: Loewy, H.- Leimbach, G.							
Linton, P. u. Maass, O.	J. Amer. Chem. Soc.	1932	54	1863	Ph		
Loewy, H., teilweise auch zusammen mit Leimbach, G.	Zbl. f. Min., Geol. u. Pal.	1911	—	241		A F	
	Beitr. f. angew. Geophys.	1930	1	70	G	A F	

Verfasser	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung	
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahrgang	Seite	Ph	R		
Löwy, H., teilweise auch zusammen mit Leimbach, G.	Beitr. f. angew. Geophys.	1937	6	47	G	F		
	Ann. d. Physik (4) *	1911	36	125	Ph G	M		
	Naturwissensch.	1927	15	921		A		
	DRP: 368079 246836 403939 401448	—	—	—	—	F		
	ZS. f. Berg- u. Hüttenwesen	1911	—	626 642 663	—	A		
	Phys. ZS.*	1910 1912 1919 1925 1930 1931 1933 1934	11 13 20 26 31 32 34 35	697 397 416 646 763 337 674 745	} Ph G	F M A		
	Elektrodynamische Erforschung d. Erdinnern (erschienen bei Manz in Wien)	1920				F A		
	Megaw	Wir. Eng.	1934			Nov.	V A	
Nikuradse, A., teilweise zusammen mit Russischwili	Phys. ZS.	1928 1932	29 33	778 553		Ph Ph		
	Ann. d. Phys. (5)	1931	8	811		Ph		
	ZS. f. Phys.	1932	76	707		Ph		
	ZS. f. techn. Phys.	1929	10	642		Ph		
	Arch. f. Elektrotechn.	1929	22	305		Ph		
Noack	Funk	1932	—	658		V		
Ortvay, R.	Ann. d. Phys. (4)	1911	36	1	Ph			

Verfasser (oder Titel)	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahrgang	Seite	Ph	R	
Pederson, P. O.	The propagation of Radio Waves etc. (Kopenhagen)	1927	—	—	—	V	
Petrowsky, A.	Bull. Inst. pract. Geophys.	1925	—	135		V	
		1926	—	143		V	
	Beitr. ang. Geophys.	1933	3	149		V	
Radio Communication in Mines	Nature	1933	132	926		V	
Lord Rayleigh	Phys. ZS.	1913	14	313		T A	
Reich, H.	Handb. d. Exp.-Phys. (erschienen bei der Akad. Verlagsges. m. b. H., Leipzig)	1933	25 III	—	Ph M G	F A	
	C. R. Int. Geol. Congress South Africa	—	15	—	Ph	—	
	Jahresber. d. preuß. geol. Landesanstalt	1926	46	627	G Ph		
	Angew. Geophys. (erschienen bei der Akad. Verlagsges. m. b. H., Leipzig)	1933			G Ph		
	Beitr. f. angew. Geophys.	1933	3	Nr.2	G		
	Beitr. f. angew. Geophys.	1933	3	Nr.6	G		
	Jahresber. d. deutsch. Kommission f. d. Intern. Bohrkongr.	1932			G		
	Gesundheitslehrer	1933			A		1)
Rein, R. u. Wirtz, K.	Radiotechn. Praktik. (ersch. b. Springer, Berlin)	1922			H M	A	1) Betrifft die Wünschelrute

Verfasser (oder Titel)	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahr- gang	Seite	Ph	R	
Rieche, H.	ZS. f. Phys.	1935	95	158	Ph		1) Betrifft Antennen
Schulze, H.	Chem. Ztg.	1937	60	545	Ph		
Siegel, E.	Hochfrequenztechnik u. E.	1935	45	51		A*	1)
Smith-Rose, R.L.	Proc. Roy. Soc London (A); siehe auch Hochfrequenztech- nik u. E.	1933	140	359		A M A M	
		1934	43	103			
	J. El. Eng.	1934		221		V A	
Sommerfeld, A.	Ann. d. Phys. (4)	1909	28	665		T*	
Stern, W.	ZS. f. Gletscherkde.	1930	18	24		F	
	Gerlands Beitr.	1929	23	292		F A	
	ZS. f. Geophys.	1931	7	166		F A	
	Frankfurter Disser- tation	—	—	—		F A	
Stipanits, M.	Mont. Rundschau	1938	30	Nr.8		V K	
Stoje	Hochfrequenztechnik u. E.	1936	47	21		V	
Strutt, M. J. O.	Ann. d. Phys. (5)	1929	1	721		T	
		1930	4	1		T	
		1930	9	67		T	
	Naturwissensch.	1929	17	727			
	Hochfrequenztechnik u. E.	1932	39	177		T	
Uller	Hochfrequenztechnik u. E.	1935	45	17		A	
Underground- Wireless	Electrician	1935	114	178		V	

Verfasser	Veröffentlichung				Inhalt		Anmerkung
	Zeitschrift (oder Buchtitel)	Jahr	Jahrgang	Seite	Ph	R	
Vilbig, F.	Lehrb. d. Hochfrequenztechnik (erschienen b.d. Akad. Verlagsges.m.b.H., Leipzig)	1937	—	—		H	
Violet, P. G.	E. N. T.	1937	14	210		T	
	Hochfrequenztechnik u. E.	1935	46	192		T	
	Charlottenburger Dissertation	—	—	—		T	
Vogler, H.	E. N. T.	1931	6	197		A	
Weyl, H.	Ann. d. Phys.	1919	60	418	Ph		
Wintsch, H.	Helv. acta physica	1932	5	127		M	
Zenneck, J.	Ann. d. Phys. (4)	1907	23	846		T*	
Zenneck, J. u. Rukop	Lehrb. d. drahtlosen Telegraphie					H	
Zickendraht	Helv. acta physica	1932	5	3		V T	
	SEV-Bull.	1936	27	764		V T	
Zickrick, J.	Electr. Rev.	1934	37	187	Ph		
Zuhrt, H.	Hochfrequenztechnik u. E.	1933	41	205		T	
	E. N. T.	1933	10	25		T	

II. Einige Arbeiten des Verfassers

Zeitschrift	Jahr	Band, (Heft), Seite	Thema
Beitr. z. angew. Geophys.	1935	5, Heft 3, 315	Beiträge zur Radiogeologie. I. Teil.
	1936	5, Heft 4, 375—395	Beiträge zu den Beziehungen zwischen Ausbreitung Hertzscher Wellen und geologischer Beschaffen- heit des Untergrundes.
	1936	6, (1), 100—119	Fortsetzung zu 5, Heft 4, 375—395.
	1937	6, (3), 277—306	Beiträge zur Funkgeologie III. Einiges über die Ausbreitung Hertz- scher Felder in Gebirgen.
	1937	6, Heft 4, 407	Beiträge zur Funkgeol. IV. Darstellung der Eigen- schaften geolog. Leiter.
	1937	7, Heft 1, 53—67	Beiträge zur Funkgeol. V. Einige Untersuchungen über die Anwendung der Funkmutung nach dem sog. Kapazitätsverfahren.
	1937	51, Heft 1, 1	Mitteilung über die Ergeb- nisse der in den Jahren 1930—1936 auf der Do- nau durchgeführt. Funk- versuche.
	1937	7, Heft 2, 190—205	Die Anwendung der kurzen Wellen in der Funkgeol.
Bohrtechniker-Ztg.	1937	55, (5), 117	Möglichkeiten einer Funk- mutung auf Erdöl.
	1938	56, Juli, 102	Der heutige Stand der Funkgeologie.
E. T. Z.	1936	57, Heft 30, 857	Einige Grundzüge der Funkgeologie.
	1936	57, Heft 42,	Beitrag zur Anwendung der Funkmutung nach dem Absorptionsverfahren.
	1937	58, 12, 319	Einfluß des Wassers auf d. Widerstand geol. Leiter.
	1937	58, Heft 46, 1241	Zum Prinzip der Wider- standsverfahren d. Funk- mutung.
E. u. M.	1936	54, 52	Untersuchung des Unter- grundes mit funktechn. Mitteln (Funkmutung).
	1938	56, 9	Einige funkgeologische Ge- sichtspunkte für die An- lage von Blitzschutzein- richtungen.

Zeitschrift	Jahr	Band, (Heft), Seite	Thema
Fortschritte der Funk- technik II.	1937		XIX. Kapitel. Die Funk- technik im Dienste der Geologie u. d. Bergbaues.
Hochfrequenztechnik u. E.	1934	43, 189	Mitteilung über die Berg- radioversuche in Kotter- bach.
	1935	46, 124	2. Mitteilung über die Berg- radioversuche in Kotter- bach u. vorl. Mitteilung über die Versuche bei Ostrov u. M.
	1935	46, 186	Mitteilung über die Ver- suche bei Ostrov u. M.
	1936	47, 190	3. Mitteilung über die Berg- radioversuche in Kotter- bach.
	1938	51, 4, 138	Einiges über die Eigen- schaften geologischer Leiter und deren Be- stimmung.
	1932	39, 136	Beitrag zum Studium der Ausbreitung elektro- magnetischer Felder in unterirdischen Hohl- räumen.
	1933	41, 100	Ausbreitung elektromagne- tischer Felder längs Flußläufen.
	1933	41, 218	Mitteilung über die Ver- suche in den Punkwa- höhlen.
Internat. Kongreßf. Kurz- wellenforsch., Wiener Kongreßschrift	1937		Neuere Ergebnisse der Funkgeologie und ihre Bedeutung für die Funk- mutung.
Montanist. Rundschau (Tägl. Montanberichte, Petroleum)	1935	2	Einiges über Funkmutung nach der Kapazitäts- methode. I.
	1935	27, 17	Die Bedeutung der Funk- geologie für die Mon- tanistik.
	1936	28, Heft 7	Einiges über die Funk- mutung nach der soge- nannten Kapazitätsme- thode. II.

Zeitschrift	Jahr	Band, (Heft), Seite	Thema
Montanist. Rundschau (Tägl. Montanberichte, Petroleum)	1937	29, Heft 13	Neuere Forschungen auf dem Gebiete der Funkgeologie.
	1938	30, Heft 1	Die elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter und ihre Bedeutung für die geoelektrischen Aufschlußmethod.
	1938	Heft 9, 1	Funkversuche in den Grünbacher Schächten.
Schlägel und Eisen	1937	Heft 1, 16	Die Bedeutung der Funkgeologie für die Montanistik.
Schweizer Mineral. Petrogr. Mitteilungen	1937	17, 271–290	Einiges über den Einfluß meteorol. Faktoren auf die Ergebnisse geoelektrischer Vermessungen.
Technische Blätter	1936	39	Einiges über die Aufgabe und die Anwendbarkeit der Funkmutung.
	1937	13, 208	Gesichtspunkte für die Schaffung eines Grubenfunkes.
	1937	27, 29, 436	Einiges über die angewandte Funkmeßtechn.
ZS. f. Geophys.	1938	14, Heft 3/4, 93	Die Messung der Antennenersatzkapazität in der Funkmutung.

Neuere und neueste Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 48. Dr. R. Fürth: **Schwankungserscheinungen in der Physik.** Mit 5 Abb. *R.M.* 3,15.
- Heft 50. Prof. Dr. C. Dorno: **Klimatologie im Dienste der Medizin.** Mit 11 Abbildungen. *R.M.* 2,70.
- Heft 51. Prof. Dr. C. Isenkrahe: **Zur Elementaranalyse der Relativitätstheorie.** *R.M.* 4,—.
- Heft 52. Dr.-Ing. Max Moeller: **Das Ozon. Eine physikalisch-chemische Einzeldarstellung.** Mit 32 Textfiguren. *R.M.* 5,40.
- Heft 53. Dr. V. Geilen: **Mathematik und Baukunst als Grundlagen abendländischer Kultur. — Wiedergeburt der Mathematik aus dem Geiste Kants.** *R.M.* 2,70.
- Heft 54. Dr. H. Heinrich Franck: **Die Verwertung von synthetischen Fettsäureestern als Kunstseife in wirtschaftlicher, physiologischer und technischer Beziehung.** Mit 3 Abbildungen. *R.M.* 2,90.
- Heft 55. Dr. Alfred Wegener: **Die Entstehung der Mondkrater.** Mit 9 Abbild. im Text und auf 3 Tafeln. *R.M.* 2,—.
- Heft 56. Niels Bohr: **Drei Aufsätze über Spektren und Atombau.** 2. Auflage. Mit 13 Abbildungen. *R.M.* 4,50.
- Heft 57. Prof. Dr. Hans Cloos: **Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge.** Mit 24 Zeichnungen und einer Karte. *R.M.* 3,60.
- Heft 58. Dr. Walther Gerlach: **Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie.** 2. Auflage. Mit 43 Abbildungen. Vergriffen.
- Heft 59. Prof. Dr. E. Study: **Denken und Darstellung in Mathematik und Naturwissenschaften.** 2. verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 10 Abbildungen. *R.M.* 3,35.
- Heft 60. Prof. Dr. techn. Milan Vidmar: **Theorie der Kreiselpumpe.** Mit 39 Abbildungen. *R.M.* 4,25.
- Heft 61. Reg.-Rat Dr. W. Meissner: **Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.** Mit 66 Abbildungen. *R.M.* 3,60.
- Heft 62. Dr. K. Siebel: **Die Elektrizität in Metallen.** *R.M.* 3,15.
- Heft 63. Dr.-Ing. M. Dolch: **Die rationelle Verwertung der niederwertigen Braunkohlen.** Mit 7 Abbildungen. *R.M.* 2,70.
- Heft 65. E. Study: **Mathematik und Physik.** Eine erkenntnistheoretische Untersuchung. *R.M.* 1,35.
- Heft 66. Dr. Walter Schallreuter: **Über Schwingungserscheinungen in Entladungsröhren.** Mit 14 Abbildungen. *R.M.* 1,35.
- Heft 67. Prof. Dr. Eberhard Buchwald: **Das Korrespondenzprinzip.** *R.M.* 4,90.
- Heft 68. Direktor Dr. Iwan Döry: **Die Schüttelerscheinungen elektrischer Lokomotiven mit Kurbelantrieb.** Mit 12 Abbildungen. *R.M.* 1,35.
- Heft 69. Prof. Dr.-Ing. Fritz Emde: **Sinusrelief und Tangensrelief in der Elektrotechnik.** Mit 18 Bildern. *R.M.* 4,—.
- Heft 70. Laurenz Bock: **Die Konstitution der Ultramarine.** Mit 3 Abb. *R.M.* 2,15.
- Heft 71. Dr. Ernst v. Angerer: **Technische Kunstgriffe bei physikalischen Untersuchungen.** 4. Auflage erscheint im Herbst 1939.
- Heft 72. Dr. Fritz Giese: **Das außerpersönliche Unbewußte. Theoretische Bemerkungen zum intuitiven Denken.** *R.M.* 3,15.
- Heft 73. Dr.-Ing. Karl Becker: **Die Röntgenstrahlen als Hilfsmittel für die chemische Forschung.** Mit 60 Abbildungen. *R.M.* 4,90.
- Heft 74. Dr. W. H. Creutzfeldt: **Korrosionsforschung vom Standpunkte der Metallkunde.** *R.M.* 1,80.
- Heft 75. Dr.-Ing. Karl Becker und Fritz Ebert: **Metallröntgenröhren (Wirkungsweise, Anlage, Betrieb).** Mit 34 Abbildungen. *R.M.* 3,20.
- Heft 76. Geh. Bergrat Prof. Dr. Stavenhagen: **Der Wasserstoff.** Mit 39 Abb. *R.M.* 4,50.
- Heft 77. Dr. Hans Alterthum: **Wolfram. Fortschritte in der Herstellung und Anwendung in den letzten Jahren.** *R.M.* 4,—.
- Heft 78. Prof. Dr. Joseph Würschmidt: **Theorie des Entmagnetisierungsfaktors und der Scherung von Magnetisierungskurven.** Mit 31 Abbild. *R.M.* 5,40.
- Heft 79. Dr.-Ing. Hermann Mayer: **Das Wasserglas.** 2. Auflage. Mitte 1939.
- Heft 80. Dr. Andreas Gyemant: **Grundzüge der Kolloidphysik vom Standpunkte des Gleichgewichts.** Mit 9 Abbildungen. *R.M.* 4,—.