

Die Anwendung physikalischer Aufschlußmethoden im Berg-, Tief- und Wasserbau.

Von Dr. Richard Ambronn, Göttingen.¹⁾

Es soll hier im Zusammenhange über einen Komplex von neuartigen Methoden berichtet werden, welche bereits jetzt, noch im Anfang ihrer Entwicklung, voraussehen lassen, daß sie eine sehr weitreichende Bedeutung für die Grundlagen unserer Volkswirtschaft, nämlich die Erschürfung der im Bergbau zu gewinnenden Rohstoffe und die Auswertung der in den Wasserkraften unserer Flüsse und Ströme vorhandenen Energiemengen erhalten werden. Die Geologie in ihrer Disziplin der praktischen Geologie bearbeitete bisher in der Hauptsache die Fragen allein, welche die Untersuchung der oberen Schichten der Erdrinde als Grundlage aller bergmännischen, tief- und wasserbaulichen Arbeiten stellte, soweit diese Unternehmungen nicht überhaupt auf gut Glück begonnen wurden. Sie gründete ihre Methode auf den reinen Augenschein an Aufschlüssen über Tage oder bei Bohrungen und in bereits vorhandenen bergbaulichen Anlagen. Auf langen Erfahrungsreihen wohl begründete Theorien über Entstehung und Gesetze der Formationsfolgen und Gebirgssysteme vermögen in vielen Fällen diese dem unmittelbaren Sehen entstammenden Kenntnisse auch weiter in die nicht unmittelbar zugänglichen Tiefen der Gebirge mit genügender Sicherheit zu verbreitern. Große Gebiete der Erdoberfläche sind aber mit Verwitterungs- und Schuttdecken überkleidet, die dem Auge des Geologen ein unmittelbares Eindringen in das Grundgebirge verwehren oder nur mit heute sehr kostspieligen Schürfungs- und Bohrarbeiten ermöglichen, wobei zudem noch meist aus der Beobachtung nur an wenigen unmittelbar zugänglichen und meist weit voneinander entfernt gelegenen Stellen auf das Verhalten des Zwischengebietes geschlossen werden muß.

Nachdem im Laufe der Jahrhunderte zumal in Deutschland der Umfang der unmittelbar von über Tage aus zugänglichen oder auf Grund der über Tage in einfacher Weise zu gewinnenden Hinweise auf die Verhältnisse in größeren Teufen zu vermutenden mineralischen Rohstofflager im weitesten Umfange erschlossen ist und diese vielfach sogar schon abgebaut sind, ist es notwendig geworden, die Beobachtungsmethoden über den Bereich des reinen Augenscheins zu verbreitern und außer der unmittelbaren Anschauung solche physikalischen Eigenschaften der die Schichten bildenden Materialien oder der tektonischen Verhältnisse zur Beurteilung der tiefer liegenden Partien heranzuziehen, deren Wirkungen eine genügende Durchdringungsfähigkeit in bezug auf die umgebenden oder überlagernden Massen innewohnt, so daß sie sich über Tage oder an sonst bereits zugänglichen Stellen mittels geeigneter Apparate durch ihre Fernwirkung nachweisen lassen.

Es sind eine sehr große Anzahl physikalischer Eigenschaften und Fernkräfte aufzuzählen, welche der soeben bezeichneten Bedingung genügen, und es wird daher vorteilhaft sein, vorerst einige Ordnung in diese Menge zu bringen.

Wir gewinnen diese durch eine Scheidung in solche Eigenschaften, denen eine unmittelbare, und solche, denen nur eine mittelbare Fernwirkung zukommt. Zur ersteren Gruppe gehören die Dichte (spez. Gewicht), welche auf die Größe und Richtung der Schwerkraft in der Umgebung der betreffenden

¹⁾ Vortrag, gehalten am 19. März 1921 auf der 9. Mitgliederversammlung zu Halle a. S.

Schichten vorzugsweise einwirkt, ferner die Magnetisierbarkeit, welche die Verteilung des natürlichen magnetischen Erdfeldes beeinflußt und die radioaktiven Strahlungen, die von einigen Stoffen ausgehen, welchen letzteren aber nur eine sehr geringe Durchdringungsfähigkeit zukommt, so daß sie in dieser Gruppe zunächst an praktischer Bedeutung völlig zurücktreten.

Die zweite Gruppe von Methoden ruht auf der Wirkung, welche die Konstitution des Untergrundes auf Energieströme, die durch ihn hindurchziehen, ausübt. Die Verteilung elektrischer Ströme, die entweder als natürliche Erdströme im Boden fließen oder mittels geeignet angebrachter Elektroden ihm von außen zugeführt werden, ist bedingt durch die elektrische Leitfähigkeit der verschiedenen Schichten; die Ausbreitung elektrischer Wellen, elektromagnetischer Strahlungen ist ebenfalls durch die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit begründet und die auf diesen beiden Umständen ruhenden Erdforschungsmethoden ergänzen sich in glücklichster Weise dadurch, daß die Methode der elektrischen Stromleitung vorzugsweise für leitende, die der elektrischen Wellen vorwiegend für nichtleitende Gebirgsgrundsubstanz geeignet ist. Die Art der Ausbreitung elastischer Wellen longitudinaler oder transversaler Schwingungsart hängt von der Verteilung der elastischen Eigenschaften innerhalb der Gesteine zwischen Sender und Empfänger ab. Die Verteilung der Temperatur im Erdinnern endlich wird neben den Einflüssen, welche durch magmatische Einlagerungen und die Wasserzirkulation bedingt sind, auch durch die Wärmeleitfähigkeit bestimmt, welche für die verschiedenen Gesteine innerhalb gewisser Grenzen wechselt.

Eine dritte Gruppe von physikalischen Methoden gesellt sich endlich mehr zu den bereits seit langem angewendeten chemischen und mikroskopischen Hilfsmitteln der modernen Geologie, indem hier physikalische Eigenschaften an unmittelbar zugänglichen Orten oder an dort entnommenen Proben bestimmt und zur Ergänzung der sonstigen an diesen üblichen Beobachtungen herangezogen werden, um über die genetische oder tektonische Bedeutung der betreffenden Stelle erweiterte Kenntnisse zu gewinnen. Dazu gehört die Messung der Verteilung der radioaktiven Eigenschaften längs der Erdoberfläche oder längs Bohrlöchern, die systematische Untersuchung der chemischen und kristallographischen Zusammensetzung der Salze einer Salzlagerstätte zur Bestimmung der Richtung und Entfernung, in welcher die wirtschaftlich nutzbaren konzentrierten Kalisalzablagerungen sich finden werden, usw.

Diese systematische Übersicht über die physikalischen Grundlagen der nun weiterhin im einzelnen zu beschreibenden Verfahren läßt sogleich eine Einschränkung scharf hervortreten. Außer der praktisch nur sehr selten vorkommenden Aufsuchung radioaktiver Substanzen durch Feststellung ihrer spezifischen Strahlung beziehen sich diese Methoden niemals auf ein bestimmtes Mineral oder einen bestimmten Stoff an sich. Stets handelt es sich darum, die Verteilung gewisser physikalischer Eigenschaften, der Dichte, der elektrischen Leitfähigkeit usw., unter Tage festzustellen. Es ist daher in allen Fällen zunächst eine geologische Vorarbeit notwendig, die Aufschlüsse gibt über die im Untergrunde überhaupt möglichen Verhältnisse. Auf Grund dieser Vorkenntnisse können dann erst diejenigen Eigenschaften festgelegt werden, durch welche sich die gesuchten Bodenschätze von dem Grundgebirge und den übrigen ihm beigemengten Bestandteilen so grundlegend unterscheiden, daß sie durch diese aus der Ferne jenen gegenüber hinreichend charakterisiert werden können. Dann erst kann man überlegen, welches der vorliegenden Verfahren für den betreffenden Fall das geeignetste sein mag, oder, wie es praktisch fast immer erforderlich sein dürfte, welche Kombination von Verfahren zur gegenseitigen Vorbereitung, Ergänzung und Kontrolle in dem betreffenden Falle am zweckmäßigsten, schnellsten, sichersten und vor allem auch am billigsten zum gewünschten Ziele führen wird.

Eine solche Prüfung der vorliegenden Aufgabe ist aber praktisch unvereinbar nur möglich, wenn möglichst alle die genannten Verfahren und weitere noch auszuarbeitende in einer Hand vereinigt sind, so daß die jeweilige Auswahl der geeignetsten vorurteilsfrei und mit genügend umfassendem Überblick erfolgen kann. Nachdem dann die physikalischen Messungen beendet sind, ist wieder der ebenfalls mit dem Wesen dieser Verfahren in längerer Erfahrung vertraute Geologe heranzuziehen, um die Deutung der Verteilung der verschiedenen physikalischen Eigenschaften im Erdinnern auf geologische Strukturbilder mit durchzuführen.

Von dem fabelhaften Ideal der Anhänger der Wünschelrute, den einzelnen Stoffen an sich, wohl gar den einzelnen Verbindungen an sich spezifische Fernwirkung zuzuerkennen (denn sie wollen z. B. Petroleum suchen, aber weder der Kohlenstoff des kohlen-sauren Kalkes noch auch der Wasserstoff der Bergfeuchtigkeit stört dabei) und von der Möglichkeit, diese spezifische Wirkung von über Tage aus durch mystische Manipulationen nachzuweisen, davon ist man also hier weit entfernt. Dafür bewegt man sich aber durchweg auf nüchternen wissenschaftlich gesicherten Grundlagen, während für eine spezifische Fernwirkung der Stoffe an sich bisher physikalisch außer der oben genannten Radioaktivität (bei der aber die Fernwirkung auch nur eine minimale Reichweite besitzt) auch nicht der geringste Hinweis gegeben ist, und eine auswählende Wirkung der „Strahlung“ gewisser Substanzen auf gewisse abgestimmte Empfänger, was mehrfach vorgegeben wird, heute von vornherein als Schwindel bezeichnet werden muß, wobei an das Phänomen der Auslösung von gewissen Sekundärstrahlen durch Röntgenbestrahlung bereits gedacht ist; diese hat aber mit den oben genannten abgestimmten Empfängern, Polarisatoren usw. wegen der viel zu großen Absorption der Röntgenstrahlen in den obersten Erdschichten ganz bestimmt nichts zu tun.

Es sei nun zur Behandlung der verschiedenen Verfahren im einzelnen übergegangen, wobei vorzugsweise Wert darauf gelegt werden soll, die Anwendungsmöglichkeiten und den Verwendungsbereich der Methoden zu schildern, während die Einzelheiten der praktischen Ausführung der Messungen mehr in den Hintergrund geschoben werden müssen, da sonst der Umfang dieser Darlegungen zu groß werden würde und dennoch die Verhältnisse sich hier an Abbildungen nur sehr mangelhaft darstellen ließen. Dagegen sollen, soweit möglich, die Ergebnisse der Messungen an Kurven vorgeführt werden.

Es seien zunächst die Methoden behandelt, welche Eigenschaften der tieferliegenden Schichten, denen unmittelbare Fernwirkung zukommt, als Grundlage besitzen.

Zu diesen Methoden gehört in erster Linie die Benutzung der Eötvös'schen Drehwaage für Schwermessungen. Die Größe und Richtung der Schwerkraft an einem Punkte der Erdoberfläche wird zwar im allgemeinen durch die Masse der ganzen Erde, durch die geographische Breite und die Seehöhe des betreffenden Beobachtungspunktes bestimmt; infolge der Abnahme der Schwerkraft mit dem Quadrate der Entfernung zwischen zwei aufeinander gravitierenden Massen hat aber die Verteilung der Massendichte in der unmittelbaren Umgebung des betrachteten Punktes doch einen mittels besonders feiner Messungen noch nachweisbaren Einfluß auf jene beiden Größen. Begrenzte Lager besonders schwerer (etwa magmatischer) Massen oder besonders leichter Gesteine (Salze) beeinflussen die Form der Flächen gleicher Schwere, die sonst Ausschnitte aus einem Rotationsellipsoid bilden müßten, und bewirken auf ihnen lokale Ausbuchtungen bzw. Einsenkungen, um welche herum also die Krümmung der Niveauflächen gegenüber dem aus der Lage des Ortes auf dem Geoid zu erwartenden Werte abweicht. Die Krümmung der Schwerniveauflächen läßt nun die Drehwaage

messen. Sie besteht aus einem Querbalken, welcher an einem sehr feinen Platin-Iridiumfaden in der Mitte aufgehängt ist. An einem Ende dieses Balkens ist ein zweiter ca. 70 cm langer Faden angebracht, an dem ein Gewicht angehängt ist, dem an der anderen Seite des Balkens ein gleich großes Gewicht das Gleichgewicht hält. Der Aufhängerdraht ist an einem Torsionskopfe befestigt, der die Einstellung des Balkens, der sich ja, solange keine besondere Kraft auf ihn von außen ausgeübt wird, in jeder Lage im Gleichgewicht befinden müßte, in jedes beliebige Azimut einzustellen erlaubt.

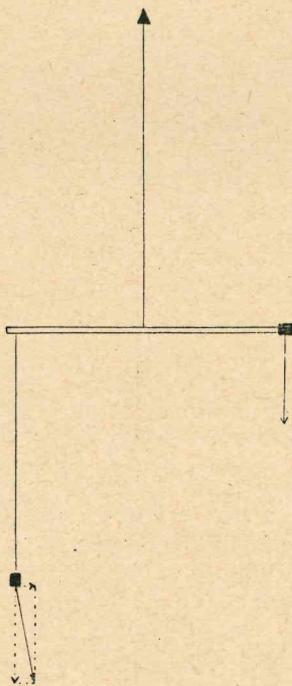


Abb. 1.

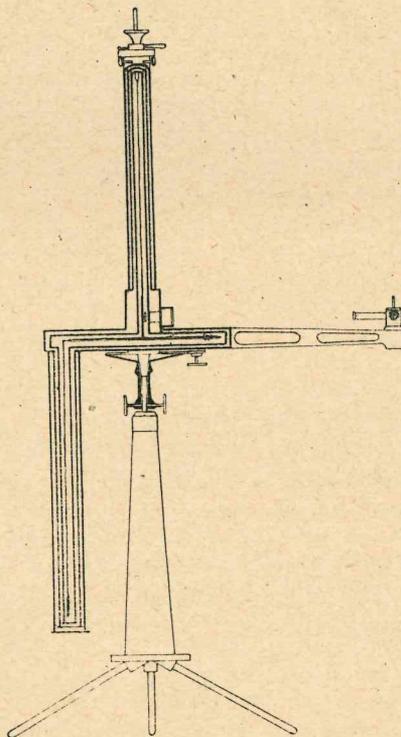


Abb. 2.

Solange sich nun diese Vorrichtung in einem völlig gleichmäßigen Schwerkraftfelde, wo also die Niveaulächen Kugelflächen sind, befindet, ist jede Drehung des Torsionskopfes von einer Drehung des Querbalkens um den genau gleichen Betrag begleitet.

Sobald aber das Schwerfeld unsymmetrisch wird, wie es eben (abgesehen von der aus der allgemeinen Form der Erde berechenbaren normalen Zunahme der Schwere nach den Polen hin) in der Nähe jener oben gekennzeichneten Buckel und Senken des natürlichen Schwerfeldes in der Nähe besonders schwerer oder leichter Einlagerungen in den obersten Schichten der Erdrinde der Fall ist, so entspricht einer Drehung des Torsionskopfes um einen bestimmten Winkel nun nicht mehr eine genau gleiche Drehung des Balkens, indem die an dem oberen und unteren Gewichte angreifenden Kräfte nicht mehr genau gleich und parallel sind, sondern ein kleines Drehmoment um den Aufhängerfaden ausüben, welches durch eine entsprechende Torsion des Drahtes kompensiert werden muß, um die Gleichgewichtslage des Systems wieder zu erreichen. Um alle Größen, welche zur Charakterisierung des Schwere-

feldes an einer bestimmten Stelle erforderlich sind, zu bestimmen, muß man bei mindestens fünf verschiedenen Lagen des Balkens die durch diese Zusatzkräfte bedingten Torsionen des Aufhängefadens bestimmen. Das geschieht dadurch, daß man das ganze System um eine lotrechte Achse drehbar befestigt, in der Drehachse des Hebels einen Spiegel anbringt und die Lage des Spiegelpunktes einer ebenfalls mitgedrehten Lichtquelle auf einer am Gehäuse befestigten Platte fixiert. Im völlig symmetrischen Felde würde dann bei jeder Lage das System die Lichtmarke an der gleichen Stelle bleiben, bei ungleichförmigem Felde aber weichen die Spuren in verschiedenen Azimuten voneinander ab und aus den Größen der Abweichungen in mindestens fünf Lagen (meist

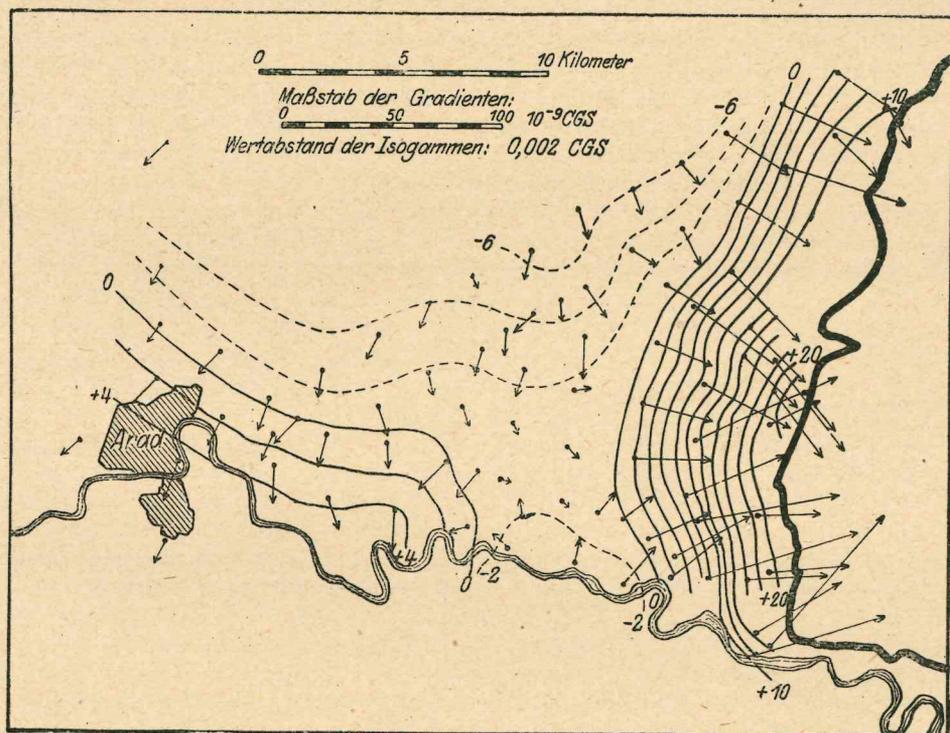


Abb. 3.

Die Abb. 3 ist dem Aufsatz von Pékar: Die geophysikalischen Messungen des Barons v. Eötvös (Die Naturwissenschaften 1919, S. 149, Verlag von Julius Springer) entnommen.

nimmt man sechs symmetrisch im Kreise verteilte Lagen und wiederholt diese zur Sicherheit mindestens noch einmal) kann man dann alle Größen ableiten, die zur Verdeutlichung der Form der Schwerefläche an dieser Stelle erforderlich sind. Vor allem erhält man aus diesen Messungen auch die Richtung der Flächensenkrechten und kann deren Abweichungen von der aus der Lage des Ortes zu errechnenden Richtung bestimmen. Sie weicht bei leichteren Einlagerungen von diesen weg, bei schweren nach diesen hin von der Normalrichtung ab. Auf die Einzelheiten der Auswertung solcher Messungen kann natürlich nicht eingegangen werden. Abb. 2 zeigt die Ansicht einer Ausführungsform der Drehwage.

Als Beispiel für die praktische Anwendung der Drehwage sei die Untersuchung der Umgebung von Arad nach dieser Methode angeführt. Dort wird eine weite Ebene, deren Grund mit jungen, leichten Schichten erfüllt ist, von

dem schweren alten Gebirge umgrenzt, das in Abb. 3 rechts des dicken schwarzen Striches zu denken ist. Abb. 3 gibt dann die Kurven gleicher Abweichung der Schwere von dem zu berechnenden Normalwerte, und zwar sind die Punkte zu großer Schwere durch ausgezogene Linien, die Punkte zu geringer Schwere durch gestrichelte Linien verbunden. Die Pfeile geben die Gradienten der Schwere nach Richtung und Größe an den durch den Punkt bezeichneten Beobachtungsorten an. Sie geben zugleich ein Urteil über die Genauigkeit der Bestimmungen durch die Übereinstimmung aneinander eng benachbarten Stellen. Abb. 4 gibt dann das Profil des Untergrundes, wie es sich an Hand dieser Schwereverteilung berechnet, das mit den geologischen Ansichten über den Bau der dortigen Gegend durchaus übereinstimmt.

Es ist aber zu beachten, daß es sich hier um eine außerordentlich einfache geologische Struktur handelt. Im allgemeinen liegen die Verhältnisse wesentlich komplizierter und damit wird die Deutung der Beobachtungsergebnisse schwieriger und unübersichtlicher. Es sei noch auf einige wichtige Umstände,

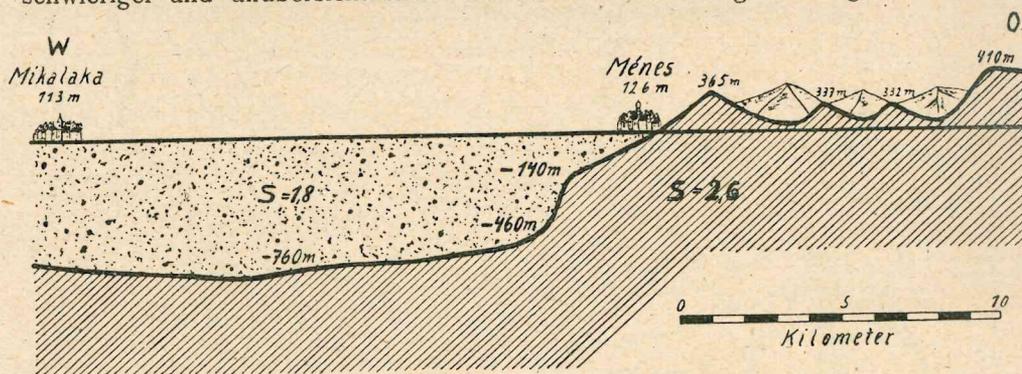


Abb. 4.

Die Abb. 4 ist dem Aufsatz von Pékar: Die geophysikalischen Messungen des Barons v. Eötvös (Die Naturwissenschaften 1919, S. 149, Verlag von Julius Springer) entnommen.

die praktisch von größter Bedeutung sind, aufmerksam gemacht. Die außerordentliche Empfindlichkeit des Apparates bedingt einen sehr guten Schutz gegen Temperatureinflüsse und Luftströmungen, was durch einen dreifachen konzentrischen Messingmantel aller beweglichen Teile bewirkt wird, der aber im Verein mit der erforderlichen Widerstandsfähigkeit des Gerätes gegen alle äußeren mechanischen Einflüsse ein sehr hohes Gewicht des Apparates bedingt, welches es nötig macht, die Drehwaage auf einem Spezialfahrzeug mittels Pferden zum Orte seiner Aufstellung zu fahren. Da man den Platz täglich wechseln muß, bedeutet das eine sehr große Umständlichkeit. Auch die Fundamentierung des Pfeilers muß jedesmal sehr sorgfältig vorgenommen werden.

Wichtig ist fernerhin, daß kleine Massen abweichender Dichte in der Nähe des Beobachtungsortes ebenso stark oder gar stärker auf die Krümmung der Niveauflächen der Schwerkraft wirken können, als große Massen in größerer Entfernung, da ja die Wirkung der Schwere mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt. Ein Urteil über die Ursache erkannter Störungen kann man also nur erhalten durch eine größere Anzahl über ein größeres Gebiet verteilter Messungen, wo sich in der Menge der Messungen die kleinsten rein lokalen Störungen, die von Findlingsblöcken, Moorlöchern usw. herrühren, aufheben und nur das Gesamtübersichtsbild der großen geologisch wichtigen Massenverteilung übrig bleibt. Da man zurzeit nur 4 bis 5 Punkte in der Woche mit einem Instrument durch-

messen kann, das einen Geophysiker, 2 bis 3 Arbeiter und einen Pferdewagen als Bedienung erfordert, so sind diese Arbeiten also sehr teuer und nur für wissenschaftliche Zwecke von Staatswegen oder bei ganz großen, wirtschaftlich sehr umfangreichen Aufgaben anwendbar. Ferner ist die Methode nur im Flachlande oder in fast ebenen Gebieten möglich, da sonst die Berücksichtigung der Schwerewirkungen von der Horizontalfläche im Orte des Beobachtungspunktes abweichender Geländeteile rechnerisch nicht mehr sicher genug möglich bleibt.

Aus allen diesen Gründen ist also diese Methode der Schweremessungen hauptsächlich nur da praktisch anwendbar, wo bereits mittels einer oder einiger der später hier zu besprechenden Methoden eine Übersicht über die geologischen Verhältnisse gewonnen wurde, diese aber an einigen wenigen, besonders charakteristischen Stellen noch kontrolliert und vertieft werden soll. Dann wird die Dauer und Kompliziertheit der Messungen durch ihre geringe nun nur noch erforderliche Zahl kompensiert.

Einen großen Vorteil würde es auch bedeuten, wenn die Bemühungen, einen leichteren, besser transportablen und namentlich schneller und einwandfreier arbeitenden Typ der Drehwage herauszubringen, welche im Gange sind, zum Erfolge führen würden, wodurch es dann vielleicht möglich würde, dieses in seiner prinzipiellen Einfachheit von Eötvös durchgebildete geniale Instrument aus dem Bereiche der reinen Wissenschaft auch in die Praxis in breiterem Umfange überzuführen.

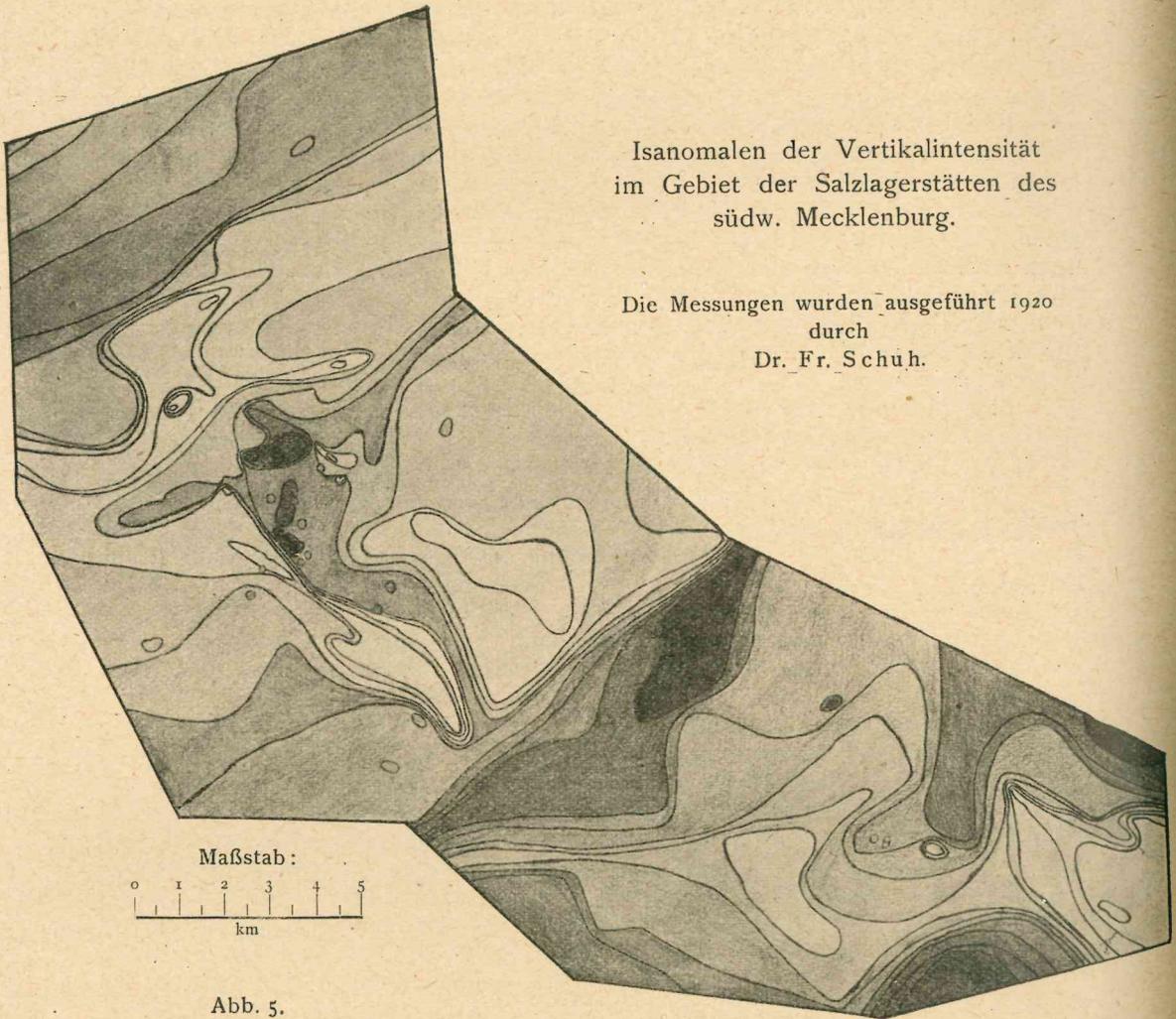
Eine Methode, welche als Vorbereitung zu diesen in ihrem Umfange möglichst einzuschränkenden Schweremessungen nun sehr oft ganz vorzüglich geeignet ist, bilden magnetische Messungen an der Erdoberfläche.

Die normale Verteilung der Bestimmungsgrößen der erdmagnetischen Kraft dürfte so allgemein bekannt sein, daß darauf hier nicht näher eingegangen werden soll. Für unsere Zwecke kommen vor allem in Betracht die magnetische Deklination, d. h. die Mißweisung der magnetischen Meridianrichtung gegen die astronomische Nord-Süd-Richtung, weil sie sich einfach bestimmen läßt und die magnetische Vertikalintensität, da sie durch die Beschaffenheit des Untergrundes in unseren Breiten besonders stark und besonders charakteristisch gestört zu werden pflegt.

Die verschiedenen Gesteine unterscheiden sich voneinander einerseits durch ihre verschiedene Permeabilität, d. h. Leitfähigkeit für magnetische Kraftlinien, so daß letztere aus Gesteinen sehr kleiner Permeabilität oder gar aus diamagnetischen Materialien in Gebiete von besserer Durchlässigkeit für die magnetischen Kraftlinien herausgedrängt werden. Über Gebieten geringer Permeabilität wird also das magnetische Erdfeld geschwächt sein gegenüber Gebieten hoher Durchlässigkeit und besonders gegenüber magneteisenerzhaltigen Gesteinen, wobei das Magneteisen nicht nur in derben Stücken, sondern auch nur in Flittern und Schüppchen in den Gesteinen eingesprengt zu sein braucht, um ihr Verhalten dem Erdmagnetismus gegenüber bereits stark zu beeinflussen. So sind z. B. die Sande und Tone der norddeutschen Tiefebene eisenhaltig und etwas magnetisierbar, während die Salz-, Anhydrit- und Gipsmassen gänzlich unmagnetisierbar sind. Daher wird an solchen Stellen, wo die Salzstöcke der Erdoberfläche nahe kommen, das Magnetfeld geschwächt sein, während es über den mächtigen, die Salze noch wie ursprünglich überdeckenden eisenschüssigen Schichtenpaketen verstärkt ist. Abb. 5 zeigt diese Verhältnisse für einen Teil des südwestlichen Mecklenburg, in den Feldern der Gewerkschaften Jessenitz, Lübtheen, Conow.¹⁾

¹⁾ Unter Umzeichnung entnommen der Arbeit von Dr. Fr. Schuh, Magn. Messungen im südwestlichen Mecklenburg als Methode geologischer Forschung. Mitteilungen aus der Mecklenburgischen Geologischen Landesanstalt, XXXII, Rostock 1920.

Die Flächen geringerer Kraftliniendichte gegenüber den zu erwartenden Normalwerten sind dunkler angelegt und mit einigen Einschränkungen systematischen Charakters kann man die Karte als ein Bild der Höhenschichtlinien der Salzoberfläche ansprechen; namentlich die Lage der Streifen starker Änderungen der magnetischen Kraft läßt mit Sicherheit auf die Lage der Salzstockflanken schließen, was z. B. für die Anordnung der jetzt mit so großem Interesse ver-



folgten Ölbohrungen von allergrößter Bedeutung ist. Das Gebiet im Südosten dürfte vielleicht infolge aus anderen Ursachen herrührender Verringerung der magnetischen Kraft allgemein etwas zu dunkel ausgefallen sein.

Das benutzte Meßinstrument ist eine Art transportabler Loyd'scher Wage (nach Ad. Schmidt) bei der die Kraft, welche der Erdmagnetismus auf einen als Wagebalken ausgebildeten in Ost-West-Richtung eingestellten Magnetstab ausübt, durch meßbare Neigung des Magneten kompensiert wird. Der Apparat ist äußerst bequem transportabel und gestattet täglich die Bearbeitung von mindestens

20 bis 25 Punkten. Es ist zweckmäßig, stets mit mehreren Apparaten gleichzeitig zu arbeiten.

Der Verdichtung der magnetischen Kraftlinien an gewissen Stellen muß auch eine Ablenkung der magnetischen Kraft, d. h. der Deklination an der Erdoberfläche entsprechen, so daß diese Flächen anziehend auf die Magnetonadel zu wirken scheinen und so lokalisiert werden können. Eine Kombination beider Messungen ermöglicht ferner die magnetische Wirkung von lokalen Erdströmen von derjenigen von magnetisierbaren Massen zu unterscheiden, indem jene Kraftlinienwirbel mit vorzugsweise horizontaler Achse, letztere Kraftlinienbündel mit vorzugsweise vertikaler Achse darstellen, welche sich durch ihren spezifischen Einfluß auf Vertikalintensität und Deklination auseinander halten lassen. Für diese letztere Aufgabe werden auch Beobachtungen über die zeitlichen Variationen verschiedenster Perioden der Intensität und Richtung der magnetischen Kraft in Abhängigkeit von dem Beobachtungsorte, die z. Zt. in Bearbeitung sind, wertvolle Schlüsse gestatten und für Aufschlußarbeiten verwertbar werden. Doch gehören diese Methoden in die Gruppe der Verfahren, die auf der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Erdinnern beruhen, welche erst später im Zusammenhange behandelt werden sollen.

Ganz kurz soll der Vollständigkeit der Systematik halber hier auf die radioaktiven Messungen hingewiesen werden, von denen an dieser Stelle nur die Aufsuchung von Lagerstätten radioaktiver Substanzen, meist in Quellabsätzen, Quellwässern usw. und die Begrenzung von Schollen mit verschiedenen großen Mengen radioaktiver Bestandteile in Betracht kommt. Die unmittelbare Durchdringungsfähigkeit der Strahlungen radioaktiver Stoffe ist so gering, daß sie selbst in großen Mengen nur bis zu Tiefen von höchstens einigen Metern auch mit den empfindlichsten Apparaten wahrgenommen werden könnten, wenn nicht auch dann schon die stets vorhandenen kleinen Beimengungen dieser Stoffe in den allerobersten Schichten mit ihrer ungeschwächten Wirkung jene Fernwirkung völlig überdeckten. Da aber die in den Urgesteinen enthaltenen Muttersubstanzen radioaktiver Stoffe auch in ihre Verwitterungsprodukte übergehen, so kann man an solchen Stellen, wo Gesteine mit höheren Uran- und Thorgehalten an solche mit nur geringen Beimengungen unter der Humusdecke angrenzen, die Grenzlinie über Tage durch die Unterschiede in der radioaktiven Strahlung festlegen. Auch der Erdoberfläche unmittelbar benachbarte konzentrierte Lagerstätten radioaktiver Stoffe können durch deren Strahlung, die sich in der Erhöhung der Leitfähigkeit von den Strahlen durchquerter Luftquanten leicht messen läßt, nachgewiesen werden. Die praktischen Aufschlußmöglichkeiten, die sich aus dem Einfluß der Untergrundverhältnisse auf den Transport radioaktiver Stoffe und aus deren sekundärer Verteilung gewinnen lassen, gehören nicht in diesen Abschnitt, der nur die unmittelbaren Fernwirkungen behandeln sollte, sondern müssen später gesondert behandelt werden.

Wir gelangen nunmehr zu der zweiten, sehr umfangreichen Gruppe von Methoden, welche den Einfluß des Baues des Untergrundes auf die Ausbreitung von Energieströmen verschiedenster Art umfassen.

Die elektrische Leitfähigkeit der Gesteine wechselt zunächst gemäß ihrer mehr oder weniger großen Durchfeuchtung in ganz außerordentlich weitem Umfange; außerdem weisen einige auch als Gangausfüllung auftretende Minerale (in der Hauptsache alle Erze mit Metallglanz, wie Schwefelkies, Kupferkies, Bleiglanz usw.) auf weite Strecken hin metallische Leitfähigkeit auf. Demgemäß wird also auch die Verteilung eines elektrischen Stromes im Erdinnern in sehr hohem Maße von dem Schichtenbau abhängen und es werden sich aus entsprechenden Untersuchungen auch weitreichende Schlüsse auf die geologischen Verhältnisse ableiten lassen, wobei wiederum bei dem Schlusse von der Ver-

teilung der Stromlinien im Erdinnern auf die sie hervorbringende und bedingende Anordnung der Bodenschichten dem mit der Gegend vertrauten Geologen ein sehr wichtiges Wort mitzusprechen gebührt.

Die Erregung der Ströme im Erdinnern kann auf verschiedene Weise erfolgen, je nachdem man natürliche Erdströme beobachtet oder Ströme in die Erdrinde von außen her künstlich einführt. Im ersteren Falle wird, wenn die Ströme durch Induktionswirkung magnetischer Störungen erzeugt werden, durch diese Ursache zunächst ein räumlich gleichmäßig verteiltes Feld elektromotorischer Kräfte, die in jedem Volumenelemente entstehen, erregt, welche elektromotorischen Kräfte dann an den Stellen und in den Richtungen zu Strömen vorzüglich Veranlassung geben, wo die Leitfähigkeit groß ist; diese erzeugen ihrerseits ein magnetisches Feld um sich, welches sich nunmehr dem von außen aufgetragenen magnetischen Felde überlagert. Die Untersuchung dieser natür-

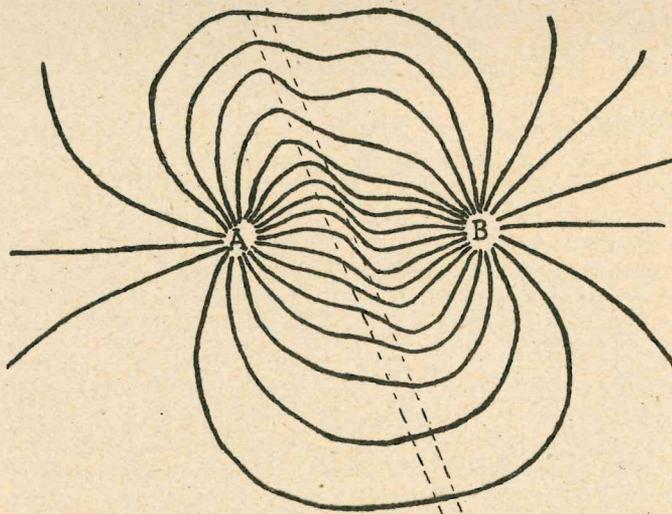


Abb. 6.

lichen Störungen der magnetischen Erdfelder und der natürlichen Erdströme bildet daher in vielen Fällen eine wichtige Methode zum Studium der Verteilung der Leitfähigkeit im Untergrunde. Ihr Vorteil besteht in der geradezu idealen räumlichen Verteilung der die Ströme erregenden elektromotorischen Kräfte, ihre Nachteile liegen darin, daß man die natürlichen elektromotorischen Kräfte nicht zu jeder Zeit zur Verfügung hat, um genügende Störungsfelder zum Ausmessen zu bekommen, und daß die Richtung des Potentialgefälles manchmal

zu der Streichrichtung der gesuchten Objekte abweichender Leitfähigkeit sehr ungünstig liegt, was namentlich bei nahe horizontal erstreckten Lagerstätten ihre Benutzung oft ausschließen muß.

Von diesen Einschränkungen wird man frei, wenn man das Potentialgefälle künstlich von außen heranbringt. Dann hat man die Richtung des Gefälles der freien Wahl unterworfen und kann auch die Stromart angemessen wählen. Dagegen bietet die Zuleitung des Stromes Schwierigkeiten, da wir es hier ja mit räumlichen Leitern zu tun haben, wo der Widerstand in sehr hohem Maße von der unmittelbaren Umgebung der Elektroden bedingt ist, sich dort also das Potentialgefälle vorwiegend konzentriert, indem an dieser Stelle der Querschnitt der Leitungsbahn am kleinsten ist und in erster Annäherung mit dem Quadrate des Abstandes von den Elektroden zunimmt. Man muß daher den Elektroden eine große Oberfläche geben, sie in besonders gut leitende Umgebung betten, eine größere Anzahl gut miteinander verbundener Erdleitungen gleichzeitig anbringen, längere blanke Kabel eingraben, flächenförmige Zuleitungen benutzen, Kapazitätswirkungen verwerten usw.

In einigen Fällen kann man die Lage der Strömungslinien selbst studieren. Z. B. wenn man den Elektroden elektrische Schwingungen hoher Frequenz zu-

führt und mit Rahmenantennen, Erdantennen u. ä. die Stellen im Zwischengebiet aufsucht, wo man maximalen Empfang erhält. Ein auf anderem Wege gewonnenes Feld der Stromlinien zwischen zwei Elektroden, zwischen denen ein gut leitender Streifen hindurchführt, zeigt die Abb. 6. Meist aber ist es weit zweckmäßiger oder sogar ganz allein möglich, die Potentialverteilung im Felde zwischen den Elektroden an den zugänglichen Linien und Flächen auszumessen oder auch die Linien gleichen Potentials aufzusuchen, die zu den Strömungslinien überall senkrecht stehen, diese in Karten einzutragen und aus dem Bilde dieser Kurven die Verteilung der Leitfähigkeit in den benachbarten Schichten

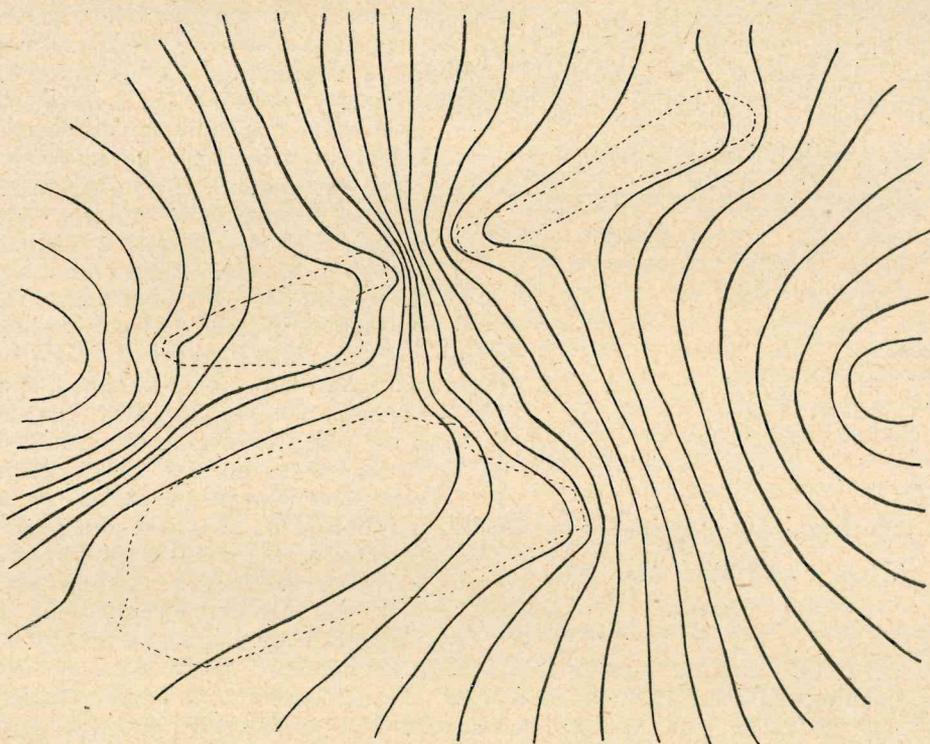


Abb. 7.

zu entnehmen. Abb. 7 zeigt ein Beispiel. In vielen Fällen ist es aber viel zu umständlich, diese ganzen Kurven festzulegen, was ja jedesmal eine genaue Messung und Kartierung der bei der Messung ausgepflochten Kurven erfordert, sondern man mißt die Potentialverteilung nur längs geologisch günstig und aussichtsreicher Querschnitte durch das Gelände. Über gut leitendem Material verändert sich das Potential langsamer, über schlecht leitendem schneller als im Normalfelde gleichmäßig verteilter Leitfähigkeit, wenn nicht besonders komplizierte Verhältnisse dies verwischen, die man dann eben durch mehrfach veränderte, den schrittweise erkannten Verhältnissen immer besser angepasste Anordnung der Zuführungsstellen und Meßlinien allmählich klären muß, wobei dann noch oft die wechselseitige Ergänzung der verschiedenen Methoden physikalischer Aufschlußarbeit sehr nützlich werden kann. Man mißt die Verteilung des Potentials nach Abb. 8 praktisch in der Weise, daß man an zwei geeignet in einer Entfernung von einigen hundert oder tausend Metern voneinander angeordneten

Stellen ca. 500 periodischen Wechselstrom zuführt, zwischen diesen Punkten außerdem ein künstliches meßbares Spannungsgefälle längs Widerständen herstellt und dann an diesen Widerständen stets den Punkt sucht, welcher genau die gleiche Spannung hat, wie der eben zu bestimmende Ort im Gelände, von dem her man die Spannung längs eines isolierten Drahtes herführt. Die Spannungsgleichheit erkennt man an dem Verschwinden des Tones in einem in diese Leitung eingeschalteten Telephone, indem bei Spannungsgleichheit an den Enden dieses Drahtes eben kein Strom fließt. Erhöhung der Empfindlichkeit bis zu einer gewissen Grenze geben Kathodenröhrenverstärker vor dem Telephone. Um reine Töne und gutes Minimum zu bekommen, sind außerdem noch zahlreiche Vorsichtsmaßregeln in der Leitungsführung usw. erforderlich, die sich aber, einmal in ihrer Bedeutung erkannt, meist in einfacher Weise erfüllen lassen. Die längs der gewählten Querschnitte bestimmte Potentialverteilung vergleicht man dann mit der aus der Rechnung für gleichmäßige Leitfähigkeit

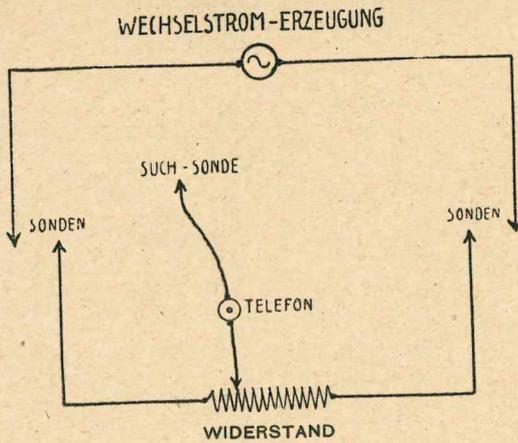


Abb. 8.

erhaltenen oder mit an kleinen Modellen gewonnenen, wobei sich gleichzeitig der Einfluß beliebig gestalteter Körper höherer oder minderer Leitfähigkeit beliebig studieren läßt und mit den in der Natur erhaltenen Werten verglichen werden kann. Ganz besondere Bedeutung gewinnt dies Verfahren dann, wenn man die Potentialverteilung längs Bohrungen ausmessen will, indem man die das Feld erzeugenden Elektroden entweder beide an der Erdoberfläche oder eine davon in die zu untersuchende oder eine benachbarte Bohrung oder beide Elektroden in benachbarte Bohrungen einbringt. Dann läßt sich bei der Verschiebung der Tastelektrode längs des Bohrloches

oder der Feldelektroden sozusagen das Schattenbild einer in der Nähe der Bohrung befindlichen schlechtleitenden Schicht (Ölnest) oder die sammellinsenartige Wirkung besonders gut leitender, durchfeuchteter, erzführender usw. Schichten ablesen. Auch hier gibt der Vergleich mit der Rechnung oder mit Modellversuchen sehr wertvolle Aufschlüsse über die umfassendere Umgebung der Bohrungen und erweitert daher die Bedeutung eines so kostspieligen Unternehmens, wie es eine Bohrung heute darstellt, in außerordentlich hohem Maße. Wichtig ist diese Methode auch bei der Vorbereitung und Kontrolle der Verfestigung wasserführender Schichten durch Einpressen von Zementaufschwemmung geworden. Dabei wird das Gebirge, das verfestigt werden soll, durch zahlreiche zweckmäßig verteilte Bohrungen, die je durch Hähne abgeschlossen werden können, durchsetzt, in die man dann die Zementbrühe einpreßt, damit sie von da aus in die Spalten des Gebirges eindringe und diese durch Abbinden des Zements verschliese. Dabei kommt es vor allem auch darauf an, die Verteilung, Lage, Größe usw. der Klüfte und Klüftchen genau zu erkennen, was nach der früher üblichen Methode, nur die ausfließenden Wassermengen zu beobachten und daraus auf die Dichtigkeit zu schließen, nur sehr ungenau möglich war. Die elektrische Ausmessung der Leitungsfähigkeit des Gebirges zwischen den Bohrlöchern läßt nicht allein die Lage und Wasserführung der einzelnen Teile des Gebirges in den verschiedenen Teufen der

erhaltenen oder mit an kleinen Modellen gewonnenen, wobei sich gleichzeitig der Einfluß beliebig gestalteter Körper höherer oder minderer Leitfähigkeit beliebig studieren läßt und mit den in der Natur erhaltenen Werten verglichen werden kann. Ganz besondere Bedeutung gewinnt dies Verfahren dann, wenn man die Potentialverteilung längs Bohrungen ausmessen will, indem man die das Feld erzeugenden Elektroden entweder beide an der Erdoberfläche oder eine davon in die zu untersuchende oder eine benachbarte Bohrung oder beide Elektroden in benachbarte Bohrungen einbringt. Dann läßt sich bei der Verschiebung der Tastelektrode längs des Bohrloches

Bohrungen genau erkennen, sondern gibt auch bei wiederholter Anwendung nach jeweilig erneuter Zementierung des Gebirges in der üblichen Weise ein vorzügliches Bild von den Fortschritten der Verfestigung in allen Einzelheiten.

Alle diese Verfahren vereinfachen sich natürlich beträchtlich, wenn man die eine Elektrode bereits mit einer Stelle der gutleitenden Partie in Verbindung bringen kann und nur noch die unterirdische unzugängliche Fortsetzung dieses Objektes, z. B. einer Kluft mit leitender Ausfüllung, sucht. Das führt zu einem Verfahren, welches im Kalibergbau von sehr großer Bedeutung geworden ist und das uns sogleich in seiner notwendigen Erweiterung zu der nächsten Gruppe von physikalischen Aufschlußverfahren, die die elektrischen Schwingungen ausnutzen, hinüberleiten wird. In Kaliwerken, die gemeinhin völlig trocken sein sollten, kommt es doch hier und da aus verschiedenen Gründen vor, daß beim Auffahren von Strecken oder bei der Herstellung von Bohrungen zur Untersuchung der Lagerstätten Laugen angetroffen werden, die meist unter hohem Druck stehen und daher in vielen Fällen mit beträchtlicher Heftigkeit hervorbrechen. Sie können zweierlei Ursachen haben, indem sie entweder Uralgen darstellen, die aus der Zeit der Abscheidung der Salze oder aus Umkristallisation herrührend allseitig von festem trockenem Salze umschlossen sind und infolge miteingeschlossener Gase unter hohem Drucke stehen. In diesem Falle wird der anfänglich heftige Ausbruch bald nachlassen und schließlich nach Aufhebung des Druckes oder nach völliger Entleerung der Höhlung gänzlich versiegen, so daß die Sache völlig harmlos ausgeht. Es kann aber auch der angeschlagene Laugenvorrat mit den unerschöpflichen Laugen- und Wassermengen über den Salzablagerungen in unmittelbarer Verbindung längs Spalten oder nasser durchlässiger Schichten stehen und in diesem Falle wird der Zufluß nicht versiegen, sondern im Gegenteil wird das fließende Wasser die Zuflußwege meistens nur noch weiter aufspülen, selbst wenn sie sich zeitweise einmal durch Tone usw. versetzt haben sollten. Sitzen gar süße Wasser zu, so kann binnen kurzem ein so großer Spalt aus den Salzen herausgelöst werden, daß falls oben nur genug Wasser vorhanden ist, was glücklicherweise in einer größeren Zahl bekannter Fälle nicht zutrifft, das Werk zum Erliegen kommen und versaufen muß (Jessenitz).

Beide Fälle unterscheiden sich bei ihrem ersten Auftreten kaum, man hat die Magnesiumkonzentration oder die Eisenoxydführung der Laugen zur Beurteilung verwerten wollen, die beide bei Ausbrüchen aus abgeschlossenen Uralgen höher sein sollen als bei eindringenden Wässern; meist werden aber gerade in der für die zu treffenden Gegenmaßnahmen entscheidenden Zeit in beiden Fällen Laugen ausfließen, die seit undenklichen Zeiten mit den Salzlagern in Verbindung gestanden haben und sich mit ihnen ins Gleichgewicht setzten. Erst später, leider meist zu spät, macht sich der Unterschied sicher bemerkbar.

Hier bieten elektrische Messungen ein unfehlbares Mittel, sofort nach erfolgtem Einbruche die beiden Fälle mit absoluter Sicherheit voneinander zu unterscheiden. Eine nasse Verbindung der Einbruchstelle mit den Grundwässern muß auch eine Elektrizitätsleitung zwischen der Einbruchstelle und dem Grundwasser zur Folge haben, und wenn man daher, wie in der Abb. 9, einen Stromkreis vom Grundwasser durch eine isolierte Leitung längs des Schachtes und der Strecken zu der Einbruchstelle hin verlegt, so wird man in dieser nur dann einen Strom erhalten, wenn auch durch das Gebirge hindurch eine nasse Zulaufspalte oder dergleichen den Stromkreis zum Grundwasser hin schließt. Da die elektrischen Eigenschaften der Grundwasserschicht, der Erdleitung und der Zuleitung zu der Einbruchstelle bekannt sind, so bleiben nur noch die elektrischen Eigenschaften des Schließungsstückes im Gebirge unbekannt, die mit dessen Querschnitt, Länge und Art der Infiltration der Laugen in der Gebirgsmasse im Zusammenhange stehen, welche letzteren daher bei hinlänglicher Er-

fahrung aus den elektrischen Eigenschaften des Schließungskreises abgeleitet werden können. Ein unendlich hoher Widerstand des beschriebenen Kreises bedeutet, daß überhaupt keine nasse Verbindung der Einbruchsstelle mit den Grundwässern vorhanden sein kann.

Die gleiche Leitungsführung läßt nun aber auch noch weit genauere Kenntnis erlangen dadurch, daß man in ihr nicht einen Gleichstrom oder langsamen Wechselstrom laufen läßt, wie das bei den obigen Messungen geschah und aus denen sich allein der Widerstand der unbekanntenen Zuflußwege ergab, sondern indem man in diesem Leiterkreise elektrische Schwingungen erzeugt, deren Schwingungsdauer und Dämpfung nun nicht allein vom Querschnitte und der Länge der Zuflußwege, sondern hauptsächlich auch von der geometrischen Form

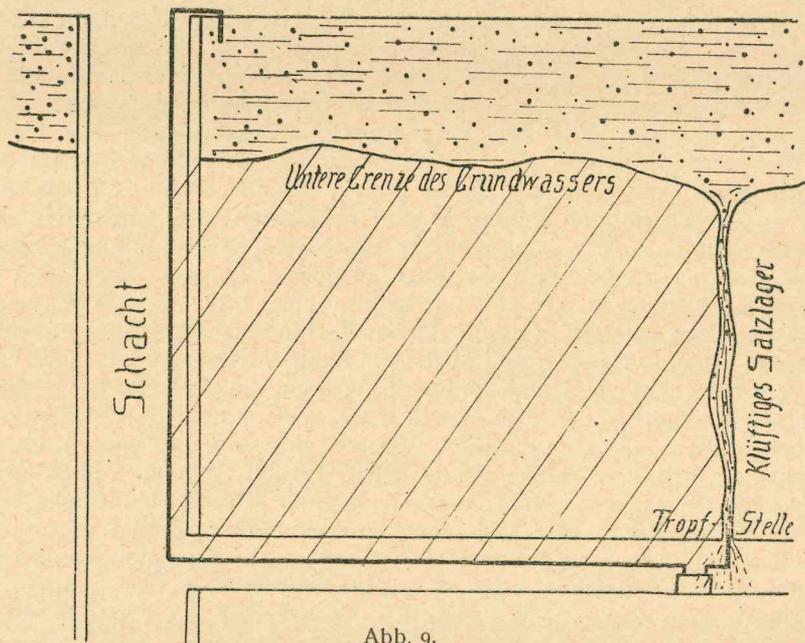


Abb. 9.

der vom Strome umflossenen Fläche, die in der Abbildung gestrichelt dargestellt ist, abhängig sind. Aus der genauen Analyse der in diesem Leitersysteme erregten Eigenschwingung läßt sich insbesondere feststellen, wie groß die Fläche ist, die vom Strom umflossen wird, und da man die Lage des Erdungskabels im Raume kennt und über die Grundwasserverhältnisse ebenfalls durch Bohrungen, durch die Erfahrungen beim Schachtbau usw. genügend genau orientiert zu sein pflegt, so bleibt nur noch die Lage der vierten Begrenzung der Fläche durch den unbekanntenen Laugenzufluß zu bestimmen, wozu die Größe der eingeschlossenen Fläche meist vollkommen hinreicht. Die Aufgabe ist ja auch durchaus nicht immer ganz allgemein gestellt, sondern meistens ist es nur wichtig zu wissen, ob etwa ein mit dem Grundwasser in Verbindung stehender Laugenerguß mit einem benachbarten alten Bohrloche, mit dem Schachte oder mit benachbarten Verwerfungen usw. im Zusammenhange steht oder ob er aus sehr großen Entfernungen vom Rande der Salzablagerungen her stammt usf. Solche Fragen lassen sich stets ganz genau beantworten.

Ist aber auch keine leitende Verbindung der Ausflußstelle mit den äußeren Wässern zu konstatieren, so ist es trotzdem von allergrößtem Interesse, zu

erfahren, wie umfangreich wohl der mit den austretenden Laugen in Verbindung stehende durchnäßte Bereich sei, um ein Urteil über die in ihm etwa zu erwartenden Laugemengen und die räumliche Verbreitung dieser unangenehmen Erscheinung überhaupt zu erhalten. Auch diese Feststellung gelingt mittels der elektrischen Wellen sehr gut, indem man die durchnäßte, allseitig isolierte Masse als das Gegengewicht zu einer in der Strecke ausgespannten isolierten Antenne von bekannten Dimensionen verwendet. Die Wellenlänge der dabei im Schwingungssystem: Antenne-Erregungsfunkstrecke, nasse Infiltration Abb. 10, auftretenden Eigenwellen gibt dann ein Maß für die elektrostatische Kapazität der Infiltration und diese wiederum steht mit der räumlichen Konfiguration und deren Ausmaßen in einfacher Weise in Verbindung. Geologische Erwägungen über den Gebirgsbau an der betreffenden Stelle werden dann im Verein mit diesen Dimensionsbestimmungen weiterhin eine klare Deutung der Feuchtigkeitsführung ergeben.

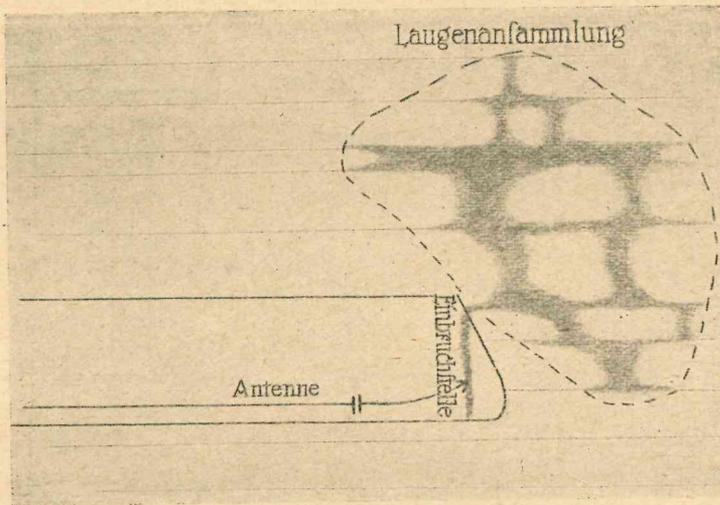
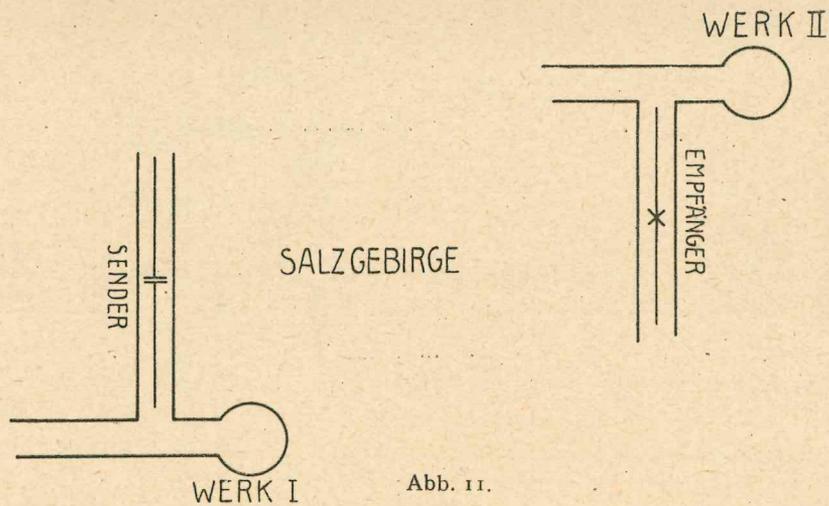


Abb. 10.

Besser aber als nach erfolgtem Einbruche dessen Charakteristik zu bestimmen und dann auf Gegenmittel zu sinnen, ist es natürlich, einen solchen Einbruch von vornherein ganz zu verhüten, indem man sich von feuchtigkeitsführenden Partien der Lagerstätten grundsätzlich fern hält. Dazu muß man aber über Mittel verfügen, um die Annäherung von Strecken, Abbauen oder Bohrungen an laugenführende Schichten oder Spalten bereits aus hinreichender Entfernung schnell, sicher und möglichst ohne Störung der sonstigen bergbaulichen Arbeiten feststellen zu können. Dazu nun sind die Methoden der Erderforschung mittels elektrischer Wellen ganz besonders geeignet; ihre Entwicklung hat gerade bei der Behandlung dieser Aufgabe eingesetzt und ist durch diese stets weiter gefördert worden.

Die Fortpflanzung elektrischer Wellen unterliegt, nachdem sie sich vom Sender losgelöst haben, ebendenselben Gesetzen wie die der Licht- und Wärmestrahlen, denen sie ja wesensgleich sind. Alle Nichtleiter des elektrischen Stromes sind für elektrische Wellen als durchsichtig, alle Leiter als undurchsichtig anzusehen. Darum beobachtet man an nahe ebenen Grenzflächen von Leitern gegen Nichtleiter Reflektion; an der Grenze von Nichtleitern verschiedener Dielektrizitätskonstante, deren Quadratwurzel dem Brechungsindex verglichen werden kann, Brechungen; man kann Interferenzen erzeugen usw.

Alle diese Eigenschaften der elektrischen Wellen kann man nun verwerten, um in den nichtleitenden Salzlagerstätten leitende, d. h. nasse Partien aufzufinden. Befindet sich z. B. zwischen zwei Strecken benachbarter Kaliwerke oder desselben Werkes ein durchnäßtes Gebiet, so kann man von einem in der einen Strecke aufgestellten Empfänger keinen Empfang in der anderen erhalten (Abb. 11), während gute Verständigungsmöglichkeit sicher auf Trockenheit des Zwischengebietes hinweist. Sehr oft wird die Aufgabe gestellt, von den Strecken des Werkes die Lage des Salzspiegels oder die Entfernung der den Flanken des Salzstockes zunächst anliegenden nassen Schichten anzugeben. Dann kann man in zwei geeignet parallel zueinander in günstiger Entfernung gelegenen Strecken Sender und Empfänger für elektrische Wellen aufstellen (Abb. 12). Beim Empfänger kommen dann einmal die Wellen unmittelbar vom Sender an, außerdem aber auch die von der leitenden Schicht reflektierten; diese beiden Wellenzüge interferieren am Orte des Empfängers miteinander und bewirken, daß, wenn man



zwar mit gleichbleibender Energie, aber mit wechselnder Wellenlänge sendet, die Empfangsstärke am Empfänger nicht konstant ist, sondern je nach der Phasendifferenz zwischen der direkten und der reflektierten Welle bei der Variation der Wellenlänge stärker und schwächer wird. Durch genaue Ausmessung dieser Interferenzen kann man den Wegunterschied zwischen direkter und reflektierter Welle und damit die Entfernung der reflektierenden Schicht mit für alle praktischen Fälle genügender Genauigkeit berechnen. In genau gleicher Weise kann man Sender und Empfänger auch in derselben Strecke in ihrer gegenseitigen Verlängerung aufstellen (Abb. 13) oder sogar Sender und Empfänger in eins zusammenfallen lassen (Abb. 14) und nur die Rückwirkung der reflektierten Welle auf den Sender studieren, die ein Maximum erreicht, wenn der Abstand des Sender-Empfängers von der reflektierenden Schicht gerade ein Viertel der dann benutzten Wellenlänge beträgt.

Dieses letztere Verfahren ermöglicht die einfachste Apparatur, benötigt nur einen einzigen Physiker an der einen Antenne und ist daher sowohl in Bergwerken zur Aufsuchung der Entfernung wasserführender Schichten von den Strecken aus nach oben hin, als auch in Wüsten, wo die elektrischen Wellen die trockenen Sandschichten ungehindert durchdringen können, zur Aufsuchung reflektierender Grundwasserschichten nach unten hin vielfach mit vollem Erfolge

angewendet worden. Durch Verwendung von Rahmenantennen kann man auch die räumliche Richtung der Wellennormalen der verschiedenen Wellenzüge an beliebig vielen Punkten im Werke oder an der Erdoberfläche festlegen und durch geeignete Kombination dieser Richtungsbestimmungen die räumliche Lage und Erstreckung der gesuchten nassen Gebiete bestimmen.

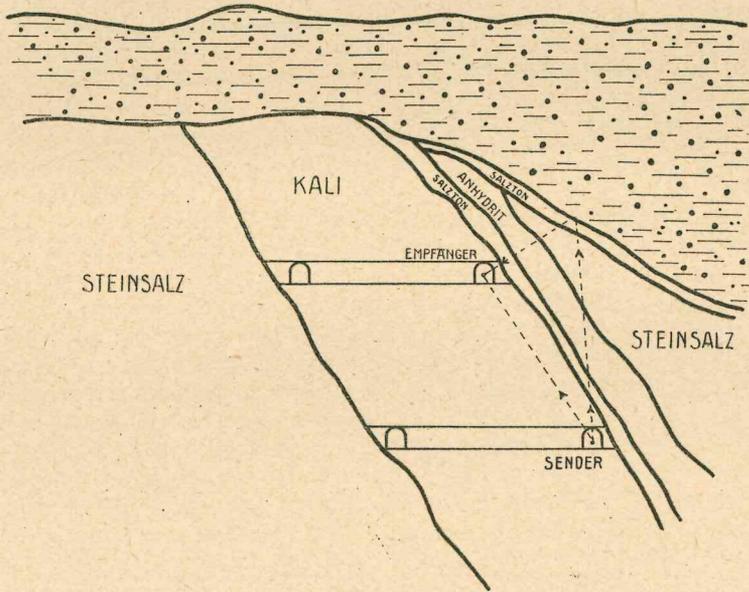


Abb. 12.

Eine ähnliche Gruppe von Messungsmethoden beruht dann auf dem Einfluß den die Umgebung von Antennen auf deren Verhalten beim Erregen von elektrischen Schwingungen auf ihnen ausübt. Die Dielektrizitätskonstante der die Antenne umgebenden Gesteinsart bedingt deren Kapazität und diese vergrößert bei gleichen Antennendimensionen die auf ihr sich ausbildende Eigenwellenlänge, wobei in besonders hohem Maße die Kapazität der Antennenspitze und damit die Dielektrizitätskonstante ihrer Umgebung in Betracht kommt.

Einen noch stärkeren Einfluß übt bezüglich der Kapazitätsvergrößerung die Annäherung leitender, also nasser Massen an die Antenne aus, bei denen als wichtigstes, besonderes Charakteristikum

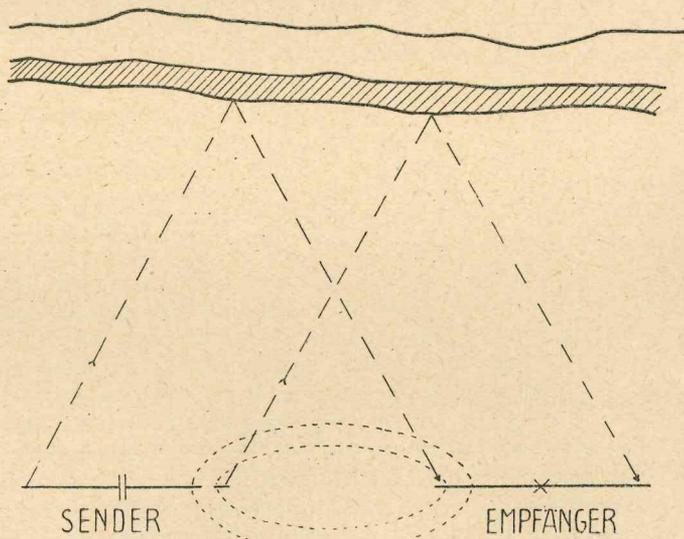


Abb. 13.

noch hinzukommt, daß sie die Dämpfung der in der Antenne erregten Schwingungen, d. h. die Geschwindigkeit ihres Abklingens durch die Energievernichtung durch die in ihnen sich entwickelnden Wirbelströme sehr stark vergrößern. Die Beobachtung verläuft so, daß man einen als Antenne dienenden Draht mittels eines Holzgestänges in die Bohrung, deren weitere Umgebung

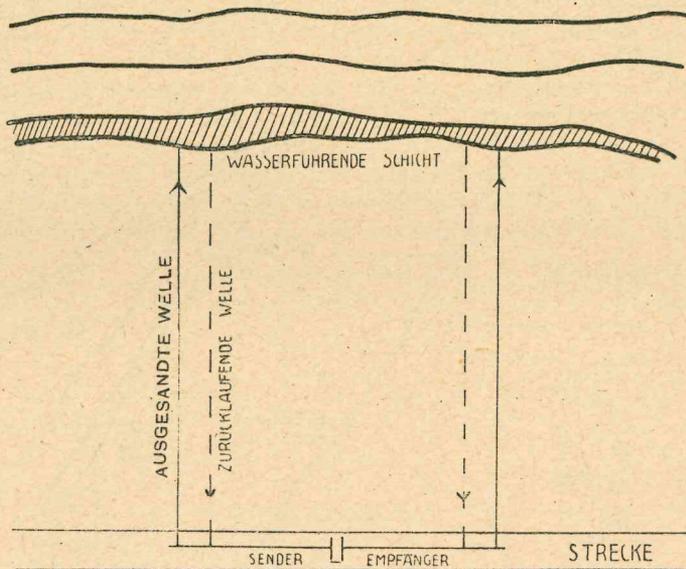


Abb. 14.

man untersuchen will, von Meter zu Meter immer tiefer einsenkt und jedesmal Wellenlänge und Dämpfung der in ihr erregten Welle mißt. Gleichmäßiges Ansteigen der Kurven bedeutet gleichförmige Umgebung, führt aber etwa wie in Abb. 15 das erste Stück der Bohrung durch nassen Anhydrit, so erhält man zunächst hohe Werte, sobald aber die Spitze der Antenne in das trockene Steinsalz eintritt, fällt die Kapazität und damit die Wellenlänge zunächst sogar mit weiterer Verlängerung der Antenne, um dann der nun gleichmäßigen Umgebung entsprechend langsam gleichförmig anzusteigen. Man kann auf solche Weise also die Annäherung einer Bohrung oder einer Strecke an wasserführende,

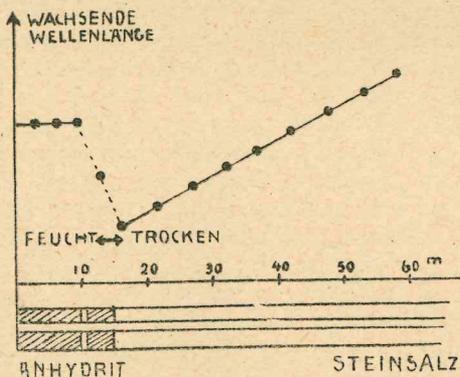


Abb. 15.

leitenden Schichten, den Übergang einer Bohrung in ein Salz abweichender Dielektrizitätskonstante, in Anhydrit u. dgl. feststellen, auch dann, wenn, wie es häufiger vorkommt, die Bohrung selbst zwar dem Bohrmehl nach in irgendeinem anderen Material, das Spalten im Hauptgestein ausfüllt, verläuft, da auf die Kapazität der Antenne im wesentlichen nur die sie in vollem Umkreise und in größeren Massen umgebenden Stoffe einwirken.

Um die Beispiele für die bezüglich ihrer besonderen Ausbildung für die verschiedensten praktischen Zwecke in den allerweitesten Grenzen eingeschlossenen

Anwendungen der elektrischen Ströme, Schwingungen und Wellen zur Unterscheidung der verschiedenen, die Erdrinde bildenden, für den Bergmann oder den Tiefbauingenieur wichtigen Stoffe und zur Aufsuchung von deren Begrenzungen gegeneinander nicht zu häufen, soll nunmehr zu einer weiteren Art von Energieströmen übergegangen werden, welche für Erderforschungszwecke ausgenutzt werden können, und zwar auf die Ströme mechanischer Energie, die durch natürliche oder nach einem Vorschlage von v. d. Borne durch künstliche Erdbebenwellen, Erschütterungs- oder Schallwellen (kurze Wellen elastischer Art) gebildet werden. Ihre Fortpflanzung in der Erdrinde und längs deren Oberfläche wird bedingt durch die elastischen Eigenschaften der Gesteine und Bodenschichten. Die Art, Form und Geschwindigkeit der Ausbreitung der elastischen Wellen von ihrer Erzeugungsstelle aus wird mittels Seismometern und ähnlicher Instrumente bestimmt.

Vor allem ist es zunächst die Größe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elastischen Wellen in einem bestimmten Materiale, welche durch dessen elastische Eigenschaften beeinflusst wird, so daß diese zwischen lockeren Böden und hartem Gesteine in den Grenzen zwischen mehreren hundert bis zu vielen tausenden Metern in der Sekunde schwankt. Die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elastischen Wellen in der Erde zwischen zwei als Send- und Empfangsstation dienenden Punkten bietet daher ein Mittel zur Bestimmung des zwischen diesen befindlichen Gesteines.

Aber auch über die Struktur der Gesteinsschichten zwischen diesen beiden Stationen vermag die Methode der elastischen Wellen Aufklärungen zu erbringen, wie an einem Beispiele gezeigt werde. Die Energie, welche zuerst von dem Sender zum Empfänger gelangt, die also das Signal sozusagen des Senders zuerst zum Empfänger bringt, wird in einem ganz gleichmäßig beschaffenen Zwischenmedium unmittelbar längs der gradlinigen Verbindungslinie der beiden Stationen übergehen.

Sobald aber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger schichtenweise oder sonstwie wechselnde Werte besitzt, indem das Zwischengebiet aus Gesteinen und Material verschiedener Elastizität zusammengesetzt ist, wird die Energie, die zuerst beim Empfänger anlangt, nicht mehr auf gradlinigem Wege durch das Zwischengebiet laufen, sondern den Weg wählen, auf dem sie am schnellsten zum Sender gelangen kann und damit möglichst den Teilen des Zwischengebietes sich anschmiegen, denen eine hohe Fortpflanzungsgeschwindigkeit eigentümlich ist. Liegt also z. B. eine Schicht von Sanden und Tonen, in denen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gering ist, über einem härteren Untergrunde, so wird, wie Abb. 16 darstellt, bei geringer Entfernung der Stationen die zuerst bei dem Empfänger ankommende Energie in der geraden Verbindung zwischen den Stationen übergehen. Rückt man aber die Stationen weiter auseinander, so kommt schließlich der Augenblick, wo die Zeit, die die Energie für den Umweg braucht, um durch die Schichte mit geringer Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu der mit größerer zu gelangen, aufgehoben wird durch die vergrößerte Ausbreitungsgeschwindigkeit in dem unteren Material. Die Energie, die sich dem elastischeren Materiale anschmiegt, kommt schneller nach dem Empfänger als die, welche in der oberen Schichte blieb. Vergrößert man, wie in der Abbildung für die Punkte I, II ... angedeutet, die Entfernung zwischen Sender und Empfänger bei jedem folgenden Versuche und teilt die Entfernung durch die jeweilig gemessene Laufzeit der Energiewelle, wodurch man eine mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit der elastischen Welle im Zwischenmedium erhält, so bleibt diese solange konstant und von der Entfernung der Stationen unabhängig, als die zuerst ankommende Energie nur in der oberen Schicht verläuft. Sobald aber der Umweg durch die Schichte größerer Aus-

breitungsgeschwindigkeit schneller durchlaufen wird als der direkte Weg, wächst die mittlere berechnete Wellengeschwindigkeit plötzlich an, bis sie bei sehr großer Entfernung der Stationen im Verhältnisse zur Mächtigkeit der Deckschichte nahe an die Schallgeschwindigkeit im unteren, härteren Medium herankommt, indem die kurzen Wege von den Stationen bis zur unteren Schicht durch die weichere Decke hindurch gegen den langen Lauf im harten Grundgebirge vernachlässigt werden können.

Die Entfernung zwischen Sender und Empfänger, bei welcher soeben die sich dem elastischeren (härteren) Medium anschließende Energie früher zum Empfänger gelangt als die auf geradem Wege übergehende, wird um so größer, je dicker die obere weichere Schicht ist. Welche Größenordnung für die Entfernung in Betracht kommt, bei der sich die Änderung der Fortpflanzungs-

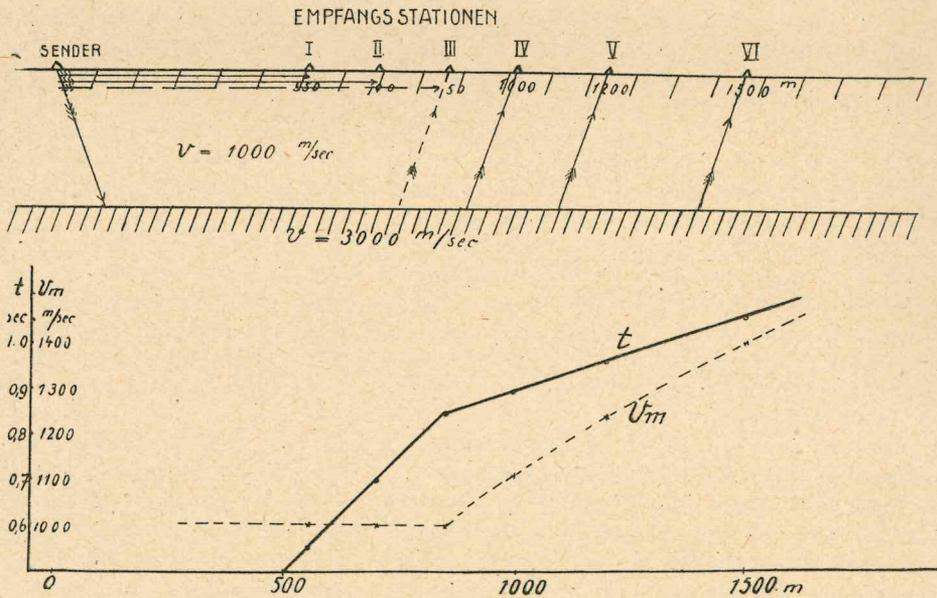


Abb. 16.

geschwindigkeit durch den Einfluß einer tieferliegenden härteren Schicht bemerkbar macht, möge ein vereinfachtes Beispiel zeigen. Die Geschwindigkeit der Ausbreitung der elastischen Wellen betrage in einem angenommenen Beispiele im oberen, weichen Material 1000 m/Sek , dieses habe eine Mächtigkeit von 300 m . Darunter liege das Grundgebirge, in dem die Wellengeschwindigkeit 3000 m/Sek betrage. Liegt in diesem Falle die Entfernung zwischen Sender und Empfänger unter 850 m , so kommt die allein in dem oberen, weicheren Material verlaufende Welle eher am Empfänger an. Ist aber die Entfernung zwischen Sender und Empfänger größer als 850 m , so läuft die sich dem härteren Materiale anschmiegende Welle schneller zum Sender. Die Abb. 16 zeigt den Lauf der Wellen für die Entfernungen $550, 700, 850, 1000, 1200$ und 1500 m ; das Diagramm darunter zeigt die Zeiten, welche zwischen Absendung und Empfang der Wellen in diesen Fällen liegen, und läßt den Knick an der charakteristischen Stelle erkennen. Die gestrichelte Kurve gibt die Zunahme der aus der Entfernung der Stationen und der Laufzeit berechneten mittleren Geschwindigkeit der Wellen, die ebenfalls an den für die Tiefe des gesuchten Schichtwechsels charakteristischen Stelle einen Knick aufweist. Bei einer Entfernung von 10 km zwischen den Stationen

würde die mittlere Geschwindigkeit sich schon zu 2570 m in der Sekunde berechnen, dem für das Tiefengestein charakteristischen angenommenen Werte von 3000 m in der Sekunde also schon sehr nahe kommen.

Die Tatsache, daß die Geschwindigkeit der Ausbreitung der elastischen Wellen in einem Gebiete von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger abhängig ist, bedeutet also, wenn die Oberflächenschicht an sich ihre Struktur dazwischen nicht ändert, daß unter der oberflächlichen Bodenbedeckung eine Schicht abweichender Elastizität sich befinden muß. Weiß man aus geologischen Vorarbeiten, was für Schichten dort vorkommen können und hat man die Schallgeschwindigkeiten in ihnen bereits bestimmt, so kann man auch die Tiefe der Grenzschicht berechnen.

Es ist klar, daß diese Bedingungen bereits wesentliche Einschränkungen der Anwendungsfähigkeit der Methode geben. Die Deutung der Ergebnisse wird weiter erschwert dadurch, daß die Übergänge der Schichten bezüglich der Härte oft unbestimmt sind, daß sie zerstückelt sind, daß dünne, harte und weiche Schichten in unbekannter, auch seitlich oft veränderlicher Wechsellagerung übereinander liegen usw. Einen Fall, der zur Behandlung nach diesem Verfahren aber gut geeignet ist, bietet z. B. die Aufsuchung von Salzstöcken im norddeutschen Flachlande, wo die harten Salzmassen an Stelle der weicheren, tertiären und kretazischen Schichten treten und scharfe Grenzen über dem Salzkopf vorhanden zu sein pflegen. Ferner eignet sich das Verfahren zur Bestimmung der Dicke von Talschottern usw. in ausgeschwemmten Flußtälern innerhalb harten Grundgebirges, wenn die Tiefe der Schotterlager beträchtlich genug ist, um die Zeitbestimmungen bei der Messung genügend genau zu erhalten. Auf einige andere Anwendungen dieser Methode, die von geringerer Bedeutung sind und in ihrer Zweckmäßigkeit noch mehr von den jeweiligen speziellen geologischen Umständen der Aufgabe abhängen, sei hier nicht weiter eingegangen. Zusammenfassend kann man sagen, daß die Methode der Beobachtung der Ausbreitung elastischer Wellen sich (ganz entsprechend derjenigen der elektrischen Wellen) bei denjenigen Aufgaben mit Aussicht auf entsprechende Erfolge anwenden läßt, wo es sich darum handelt, ausgedehntere Grenzflächen hinreichend mächtiger Schichten mit stark voneinander abweichenden elastischen (elektrischen) Eigenschaften aufzusuchen und festzulegen.

Die Heranziehung der Wärmeleitungskoeffizienten der verschiedenen Gesteine und der Temperaturverteilung im Erdinnern zur Analyse des Baues des Untergrundes, die meist mittels Temperaturmessungen längs Bohrungen usw. erfolgt, soll hier nicht näher behandelt werden, da diese Methode bisher, außer vielleicht zur Bestimmung der etwaigen Annäherung einer Bohrung an eine aus anderweitigen Anzeichen oder Vermutungen erwartete Thermalquelle, die das umgebende Gebirge erwärmen könnte, soweit bekannt geworden ist, keine sehr umfangreiche praktische Bedeutung gewonnen hat.

Erst in neuester Zeit sind Messungen der radioaktiven Eigenschaften längs der Erdoberfläche und längs Bohrungen usw. zu Erderforschungszwecken herangezogen worden, nachdem bereits seit 20 Jahren bekannt war, daß allen Gesteinen der Erdoberfläche und des Erdinnern, soweit es zugänglich ist, Beimengungen radioaktiver Stoffe in sehr kleinen, aber bei der Empfindlichkeit der spezifischen Messungsmethode für diese Stoffe, sehr wohl meßbaren Mengen beigemischt sind. Die Messung dieser Beimengungen geschieht mit Hilfe der von ihnen ausgesandten Strahlungen korpuskulärer und wellenartiger Natur, durch die Analyse ihrer Umwandlungsprodukte usw. in bekannter Weise.

Zu Erderforschungszwecken darf man aber nur solche Methoden benutzen, die sich schnell und ohne großen Aufwand von Chemikalien usw. durchführen lassen, um in annehmbarer Zeit die Verteilung der radioaktiven Eigenschaften

über größere Gebiete durch Messungen an sehr vielen Punkten festlegen zu können. Es sind daher im allgemeinen nur relative Messungen möglich. Aber auch diese gewähren bereits in sehr vielen Fällen sehr interessante und wirtschaftlich wichtige Einsicht in sonst schwer überschaubare geologische Verhältnisse.

Die Beimengung der radioaktiven Stoffe zu den Gesteinen und Erden ist zunächst abhängig von der Entstehung der betreffenden Schichten. Je nachdem

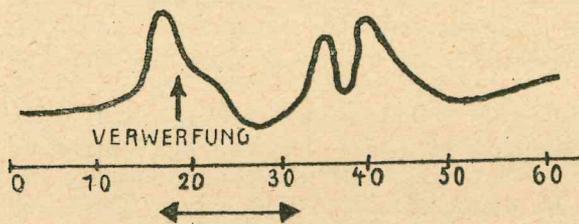


Abb. 17.

in diese mehr oder weniger große Mengen der Muttersubstanzen der radioaktiven Elementreihen, die aus Uran und Thor hervorgehen, eingebettet sind, um so größer ist für die nächsten geologischen Zeiträume die Aktivität ihrer selbst und ihrer Verwitterungsprodukte. Durch große Aktivität zeichnen sich viele Granite und

Eruptivgesteine aus. Sande sind oft sehr schwach aktiv, Tongehalt z. B. vermehrt die Aktivität bedeutend. Man kann also in vielen Fällen, da ja die radioaktiven Beimengungen auch in die Verwitterungsprodukte übergehen, auch über diesen, in Waldgeländen usw., wo geologische Aufschlüsse nicht sicher zu gewinnen sind, aus der Verteilung der Aktivität auf die Begrenzungen verschiedener Formationen schließen. Das gleiche gilt in vertikaler Richtung für Bohrungen und aus ihnen entnommene Bohrproben.



Abb. 18. Eisenerzgang bei Ilfeld i. Harz.

Wichtiger aber ist die sekundäre Verlagerung von radioaktiven Muttersubstanzen oder Umwandlungsprodukten. Bei der Bildung von Erzgängen oder anderen sekundären Einlagerungen sind auch Muttersubstanzen radioaktiver Reihen und ihre Umwandlungsprodukte mit eingewandert und eventuell abgeschieden worden, und zwar um so mehr, als die radioaktiven Stoffe bei ihrem Zerfalle längs ihrer Zustandsreihen fortdauernd ihre chemische Natur grundlegend

ändern, vom festen in den gasförmigen Zustand und umgekehrt übergehen, ihre Löslichkeit ändern usf. und sich dadurch von allen anderen Stoffen völlig, insbesondere auch den die Erdrinde umgestaltenden Agentien gegenüber, unter-

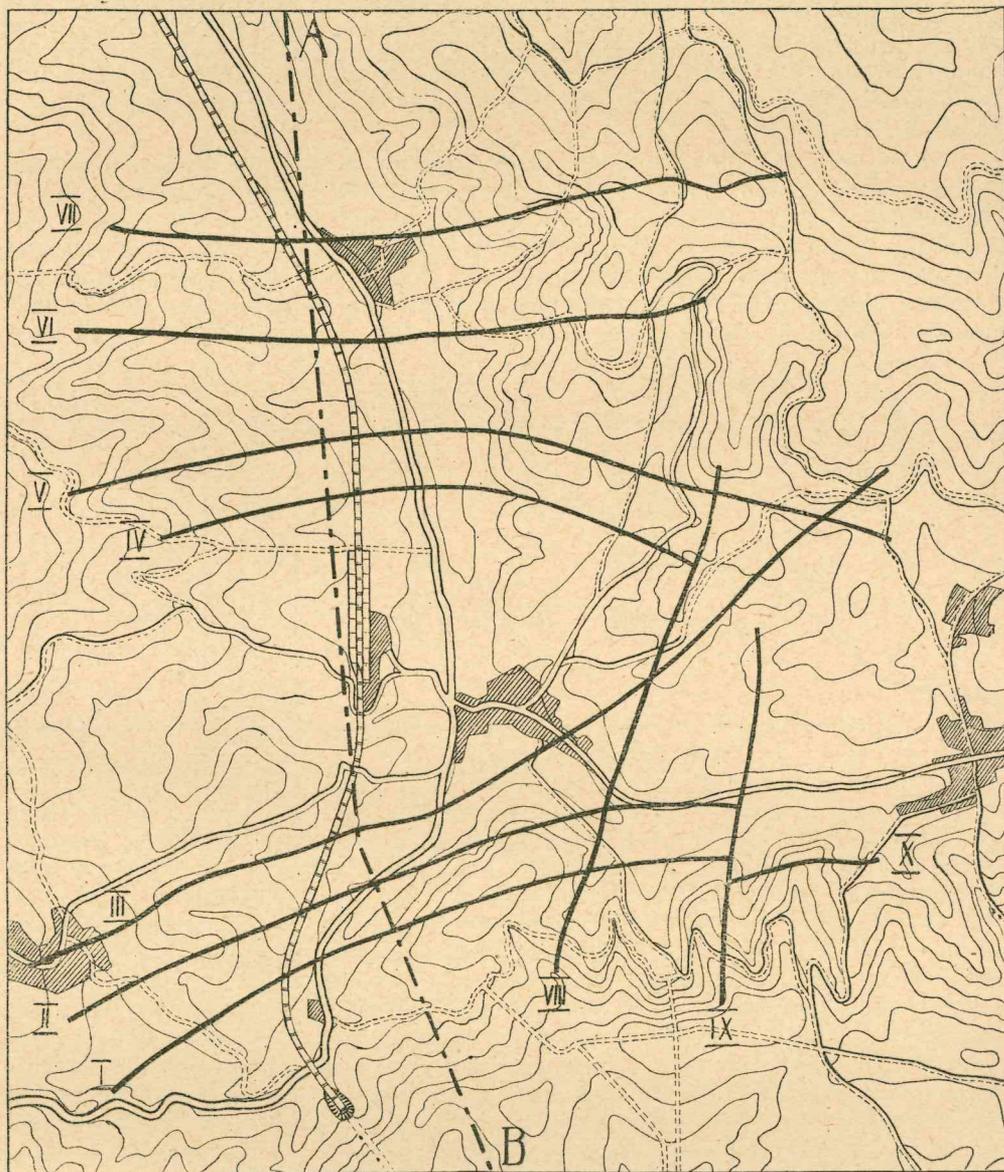


Abb. 19.

scheiden. Die Beobachtung ergibt nun, daß sich diese Stoffe auf den meisten erzführenden Gängen und auf Verwerfungen angereichert haben, und daß die Schnittlinien der Erdoberfläche mit solchen Gängen und Verwerfungen (das Ausgehende) auch dann, wenn die obersten Schichten völlig verwittert sind, in einigermaßen flachem Gelände, wo nicht der Gehängeschutt zu schnell zu Tal

rutscht, sich durch die Sonderheiten in der Verteilung der Aktivität darüber bemerkbar machen. Die folgenden Abbildungen geben eine Anschauung von dieser Erfahrung. Es bezieht sich Abb. 17 auf eine Verwerfung bei Blankenburg im Harz, die durch den Bergbau genau aufgeschlossen ist. Abb. 18 zeigt einen Eisenerzgang im Harze, der in Abständen von je etwa 150 m voneinander entfernt überschritten ist und Kurven der Aktivität beim Überschreiten des Ganges ergibt, die erkennen lassen, daß sich der Gang in längerer Erstreckung recht gleichförmig aus dem umgebenden Gesteine durch seine radioaktiven Eigenschaften hervorhebt.

Eine besondere Anwendung dieser Methode zeigen die beiden folgenden Abb. 19 und 20, wo zunächst für einen größeren Bereich die Streifen I bis X eingezeichnet sind, die sich durch die Sonderheiten in der Verteilung der Radioaktivität über ihnen als Brüche und Verwerfungen kennzeichnen. Diese hängen, wie die Aufschlüsse in einem unter dem von I, II, III und VIII durchzogenen Gebiete im Abbau befindlichen Kaliwerke beweisen, augenscheinlich mit der Auffaltung des Salzlagers in diesem Gebiete zusammen, dessen Süd-

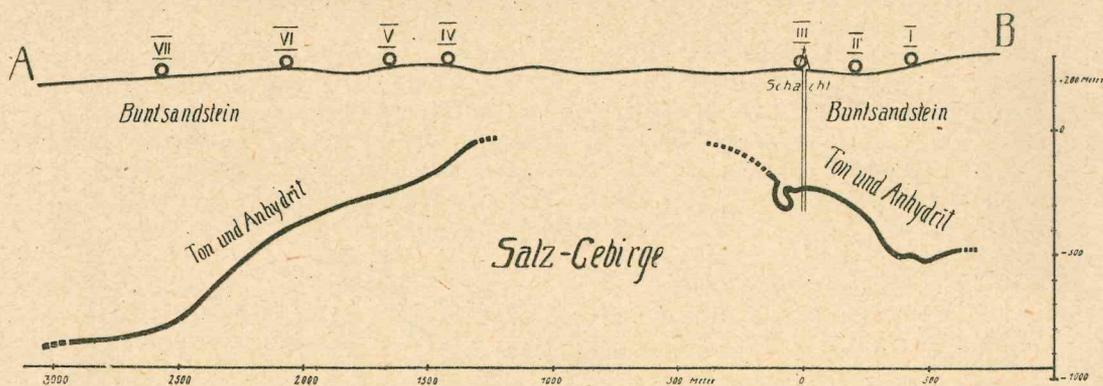


Abb. 20.

Profil A—B

und Ostflanke sie bilden. Da zwischen III und IV der Salzspiegel in geringer Tiefe, nördlich VII aber Buntsandstein bis zu über 1000 m Teufe durch Bohrungen festgelegt ist, so ist es wohl ziemlich klar, daß die Brüche IV bis VII die andere, nördliche Flanke der Salzwelle begleiten und kennzeichnen. Die nächste Abbildung gibt den voraussichtlichen angenäherten Verlauf dieser Flanke des Salzstockes nach Norden hin. Über die Verhältnisse im Osten ist weniger genau zu urteilen, es ist aber kein Zweifel, daß die Querbrüche im Osten zur Vorsicht beim Abbau in dieser Richtung mahnen, und die Feststellungen unter Tage haben inzwischen den damals geäußerten Befürchtungen auch bereits entsprochen, wenn auch Schaden durch die rechtzeitige Warnung bisher vermieden worden ist. Sehr große Bedeutung hat die Aufsuchung von Verwerfungen, Spalten u. a. natürlich auch in den Gebieten, auf denen Talsperren, Kanäle, große Bauten usw. errichtet werden sollen, da solche Störungen der gleichmäßigen Beschaffenheit des Untergrundes die Wasserdurchlässigkeit fördern und die Standfestigkeit vermindern.

Ebenso kann man an Serien von Proben aus Bohrlöchern wichtige Feststellungen über die Natur und den Wechsel der durchbohrten Schichten gewinnen und z. B. oft feststellen, ob die Bohrung Verwerfungen durchsunken hat oder durch ölführende Schichten, ohne sie zu bemerken, hindurchgebohrt worden ist. In beiden Fällen finden ganz anormal große Beimengungen radioaktiver

Substanzen statt, wie solche z. B. in der Abb. 21 angedeutet sind, wo bei 262 m und 303 m jedesmal ein sehr scharfes Maximum der Aktivität einsetzt, welche den beiden Ölhorizonten ihre Entstehung verdanken. Auch über Tongehalt und Wasserführung der höheren Schichten läßt die Kurve Folgerungen zu. Man sollte möglichst von jeder Bohrung von den zu geologischen Zwecken ja ohnedies zu entnehmenden Proben ca. 300 g an das Laboratorium der „Erda“-G.

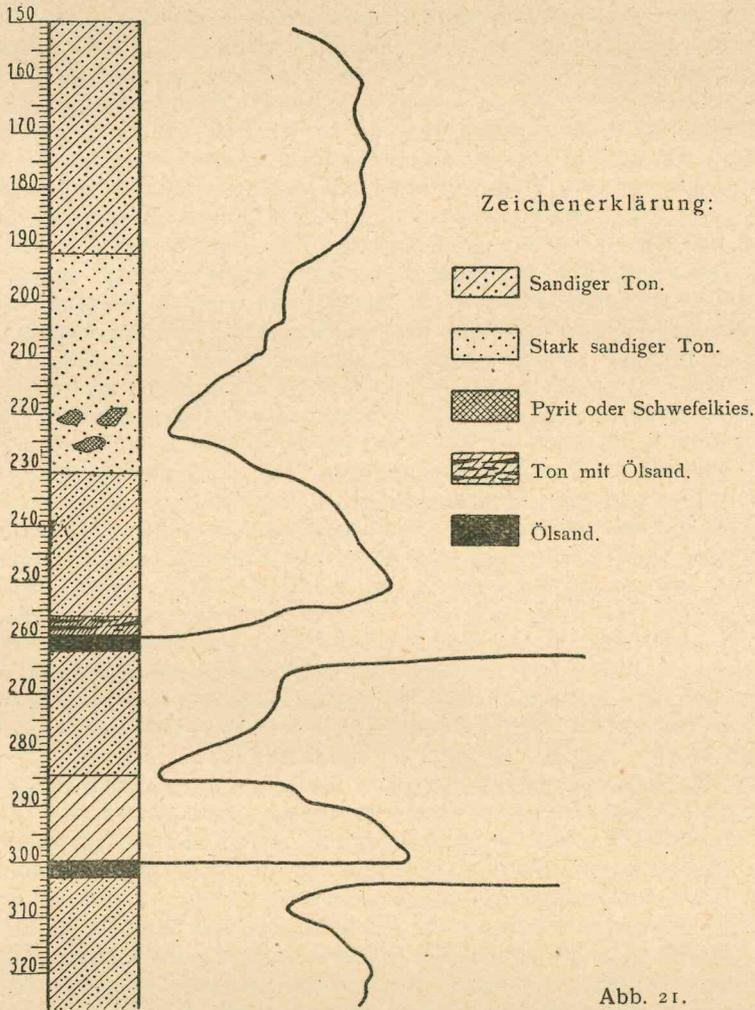


Abb. 21.

m. b. H., Institut für praktische Geophysik, senden nebst entsprechender geologischer Beschreibung, welches diese vorläufig gern kostenfrei untersucht, um weiteres Material für diese wichtigen Methoden zu haben, die geeignet sind, zumal gemeinsam mit den bereits früher genannten Verfahren, die Aufschlüsse, die man aus einer Bohrung erhält, zu vertiefen und weit in die Umgebung der Bohrung hinein zu verbreitern.

Der Wert einer Bohrung wird außerdem unter Umständen wesentlich erhöht, wenn man bei ihrer Herstellung längs derselben die Zunahme der Temperatur bestimmt hat, denn in der Kurve der Temperaturzunahme macht sich die An-

näherung der Bohrung an Lagerstätten, die infolge chemischer Umsetzungen Wärme entwickeln, wie manche Kohlen und Erze, schon aus beträchtlicher Entfernung bemerkbar. Auch Salzstöcke erhöhen die Temperatur ihrer Umgebung über die in der entsprechenden Tiefe normalerweise zu erwartenden Werte. Spalten mit fließenden heißen oder kalten Wässern können sich auch auf einige Entfernung hin thermisch bemerkbar machen. Die Temperaturmessungen müssen aber sehr sorgfältig angestellt und kritisch behandelt werden, um die wahre Gesteinstemperatur zu erhalten, die durch die Wärmeentwicklung beim Bohren oder durch die Abkühlung der Bohrung beim Durchpressen des Spülwasserstromes sehr leicht beträchtlich gefälscht werden kann.

Damit sind die heute in weiterem Maße für Erforschungszwecke in Betracht kommenden physikalischen Verfahren in der Hauptsache erschöpft. Sie alle bestimmen, um das nochmals zu betonen, nicht die gesuchten Stoffe als solche, sondern lassen nur durch die Fernwirkungen ihrer physikalischen Eigenschaften auf die Verteilung dieser Eigenschaften, der Dichte, Magnetisierbarkeit, Leitfähigkeit usw. im Untergrunde schließen. Die praktische Verwertung der dazu angestellten Messungen bedeutet dann aber einen Schluß von der Folge auf die Ursache, welchem bekanntlich nie Eindeutigkeit zukommen kann. Es ist daher zunächst erforderlich, daß bei Vorbereitung und Auswertung dieser Messungen der Geologe zur Mitarbeit herangezogen wird, der mit den allgemeinen geologischen Verhältnissen des Gebietes bereits vertraut ist, und daß möglichst mehrere Methoden, die sich auf verschiedene Eigenschaften der gesuchten Massenverteilung gründen, zu gegenseitiger Kontrolle und Ergänzung angewendet werden. Um den inneren Zusammenhang aller dieser Untersuchungen am gleichen Objekte zu wahren und in zweckmäßigen Einklang zu bringen, ist es daher wünschenswert und erforderlich, daß möglichst alle diese Methoden nebst den geologischen Sachverständigen zu dauernder Zusammenarbeit sich zusammenfinden, wie das z. B. von der „Erda“-Gesellschaft für wissenschaftliche Erdforschung in Göttingen in ihrem Institut für praktische Geophysik erstrebt wird und schon weitgehend erreicht ist. Auf diese Weise wird der deutschen Volkswirtschaft die Sicherheit geboten werden können, auf schnellstem und sicherstem Wege zu den Rohstoffen zu gelangen, die noch im Schoße des Bodens unseres Vaterlandes schlummern. Auch die wissenschaftliche Forschung hat durch solche Untersuchungen großen Vorteil.

Für die weitere Ausgestaltung der Methoden ist es aber auch erforderlich, daß von seiten der Bergwerksindustrie diesen Untersuchungen und Verfahren das gebührende Interesse entgegengebracht wird, indem sich diese bei Fragen über die Konstitution des Untergrundes an ein für solche physikalische Aufschlußarbeiten zuständiges Unternehmen wendet, um auf Grund einer genauen Darlegung der jeweils vorliegenden Verhältnisse sich Vorschläge für die Anwendung dieser wissenschaftlichen Methoden unterbreiten zu lassen. Daß die Verfahren bereits so weiten Eingang in die Kali-Industrie gefunden haben und hier bereits in sehr vielen Fällen großen Nutzen bringen konnten, rührt nicht zum mindesten davon her, daß diese Industrie von Anfang an die Versuche weitgehend unterstützt und durch Stellung von immer neuen Aufgaben befruchtet hat.

Diskussion.

Berghauptmann Scharf: Ich bitte um Auskunft, ob Sie, Herr Dr. Ambronn, in der Lage sind, mit Ihren Untersuchungsmethoden bei Braunkohlenablagerungen die Mächtigkeit und Beschaffenheit des Deckgebirges, die Stärke des Braunkohlenflözes, die Störung der Flözablagerung durch Auswaschungen und vielleicht auch die Wasserführung der hangenden und liegenden Schichten festzustellen? Oder können Sie einzelne dieser geologischen Verhältnisse ermitteln?

Dr. Ambronn: Zu allen solchen allgemeinen Fragen ist zu bemerken, daß die physikalischen Aufschlußmethoden nicht nach einem ein für allemal gültigen Rezept durchgeföhrt werden können, sondern in jedem Falle der Eigenart der Aufgabe besonders angepaßt werden müssen. Daher können sie auch nur von auf diesem Gebiete erfahrenen, allseitig vorgebildeten Physikern und Geophysikern durchgeföhrt werden. Man muß sich vor Inangriffnahme einer Untersuchung mittels dieser Verfahren stets fragen, wodurch unterscheidet sich das gesuchte Objekt von dem es umgebenden Gebirge, und man muß diejenigen abweichenden Eigenschaften herausuchen, denen in irgendeiner Weise eine Fernwirkung zukommt. Denn es ist ja der Vorzug der physikalischen Methoden vor anderen Aufschlußverfahren, daß man mittels ihrer die gesuchten Stoffe oder Objekte durch dicke Gebirgsschichten hindurch festlegen und begrenzen kann. Die Unterlagen für diese Vorüberlegung liefern bereits bekannte geologische Tatsachen, allgemeine Erfahrungen an ähnlichen Aufgaben oder spezielle Untersuchungen und Konstantenbestimmungen an aus dem zu untersuchenden Gebiete stammenden Materialproben im Laboratorium. Bei größeren Aufgaben ist auch eine vorhergehende Ortsbesichtigung stets vorteilhaft zur Aufstellung des genauen Arbeitsprogrammes.

Um auf die Frage der Untersuchung von Braunkohlenflözen insbesondere nunmehr zurückzukommen, so bestehen eine große Anzahl von physikalischen Eigenschaften, durch welche sich die Flöze von den liegenden und hangenden Schichten unterscheiden und denen zugleich eine genügende Fernwirkung zukommt.

Die Braunkohlenlager unterscheiden sich von ihrem Begleitgestein im allgemeinen durch ihre Dichte, ihre Elastizität und ihre elektrische Leitfähigkeit. Unter Umständen können sogar magnetische Messungen die geologischen Verhältnisse so klären, daß man die Lage von Braunkohlenflözen begutachten kann. Dagegen werden in der Hauptsache die zuerst genannten Eigenschaften zu brauchbaren quantitativen Meßmethoden führen. Welche von diesen man in jedem Falle anwendet, hängt ganz von der Natur der speziellen Aufgabe ab; die Mehrzahl möglicher Verfahren zeigt aber bereits deutlich an, daß in den allermeisten Fällen zum mindesten eines von ihnen mit Erfolg anwendbar sein wird.

Verwerfungen im Braunkohlengebirge, welche häufig für die Erhaltung und den Abbau der Lager grundlegende Bedeutung besitzen, kann man oft mittels radioaktiver Messungen auffinden. Die Wasserführung des Untergrundes, in dem sich die Flöze befinden, läßt sich vielfach mittels elektrischer Potentialmessungen wesentlich klären.

Ich möchte aber wiederholen, daß bei dem ungeheuren Wechsel in allen geologischen Faktoren von einem Orte zum anderen sich ein allgemeines Rezept für die Anwendung der physikalischen Methoden niemals wird aufstellen lassen, daß vielmehr nur die vertrauensvolle Zusammenarbeit des Bergmannes und des Geologen mit dem die physikalischen Fragen und Methoden voll beherrschenden Fachmann, der über alle in Betracht kommenden Verfahren frei verfügt, im speziellen, gegebenen Falle den Weg angeben kann, auf dem die Aufgabe jeweils bearbeitet werden muß; die Möglichkeit aber, auf diesem ganz neuen Wege Fernwirkungen ausnutzen und große Gebiete lückenlos flächenhaft untersuchen zu können, bringt dann in allen Fällen, die als für diese Methode geeignet erkannt werden, gegenüber den rein bergmännischen Verfahren ganz enorme Ersparnisse.

Berghauptmann Scharf: Gestatten Sie, Herr Doktor, noch eine andere Frage. Benachbarte Kaliwerke machen sich aus Betriebsrücksichten hin und wieder durchschlägig, indem von dem einen zum anderen Werke eine Verbin-

dungsstrecke aufgefahen wird. So treibt man zum Beispiel vom Kaliwerk Salz-
münde nach dem Kaliwerk Krügershall auf der tiefsten Sohle einen Verbindungs-
querschlag, der noch etwa 3 km unverritztes Feld zu durchhörtern hat. Können
Sie durch Ihre Untersuchungen feststellen, welche Lagerungsverhältnisse in dem
zu durchhörternden Gebirge bestehen, besonders ob mit bemerkenswerten Gebirgs-
störungen zu rechnen ist, ferner ob Laugen- oder Gasansammlungen zu erwarten
sind, und können Sie die betreffenden Stellen mit einiger Sicherheit bezeichnen?

Dr. Ambronn: Diese und ähnliche Untersuchungen sind bereits in einer
größeren Anzahl von Fällen erfolgreich durchgeführt worden. Die Lösung dieser
Aufgaben war sogar das Problem, um dessentwillen das Unternehmen, dem ich
jetzt vorstehe, einst von den Herren Dr. Leimbach und Dr. Löwy begründet
wurde und bezüglich dessen daher uns die Erfahrungen schon am längsten zur
Verfügung stehen. Durch die Untersuchung der von dem einen der Werke
ausgesandten, an den verschiedenen Stellen des Streckensystems des anderen
ankommenden Züge elektrischer Wellen auf Richtung, Intensität und Phase
läßt sich die Beschaffenheit des zu durchhörternden Gebirges nach den von Ihnen,
Herr Berghauptmann, genannten Gesichtspunkten mit sehr großer Genauigkeit
analysieren. Namentlich die Anwesenheit durchnäster Gebirgstteile, die Lage
der hangenden Grundwasserschichten, Laugenansammlungen usw. lassen sich,
zumal da in den letzten Jahren die Meßmethoden für elektrische Wellen sehr
große Fortschritte gemacht haben, die wir selbstverständlich auch in den Dienst
unserer Arbeiten stellen, mit absoluter Sicherheit feststellen. Soweit uns die
Verhältnisse auf den genannten Werken bekannt sind, würde eine Anwendung
unserer drahtlosen Methode binnen kurzem völlige Klarheit über die fraglichen
Verhältnisse erbringen. Bei der ungeheuren Wichtigkeit, die der genauen Kennt-
nis der Lage und Entfernung laugenhaltender Gebirgspartien von den Strecken
und Abbauen eines Kaliwerkes zukommt, ist es heute wohl kaum mehr zu ver-
antworten, wenn noch unverritzte Teile der Lager angefahren werden, ohne sie
vorher mittels elektrischer Wellen durchstrahlt zu haben, wobei sich mit Sicher-
heit feststellen läßt, ob sie Laugen führen oder trocken sind.

Berghauptmann Scharf: Ich möchte noch eine weitere Frage an Sie richten.
Es wird beabsichtigt, das Steinkohlenvorkommen nördlich von Halle, welches
von einer mehr oder minder mächtigen Porphyredecke überlagert wird, durch
Bohrungen zu untersuchen. Da der Porphyr mehrere hundert Meter Mächtigkeit
annehmen kann, so ist es für das richtige Ansetzen einer Bohrung wichtig,
die ungefähre Mächtigkeit des Porphyrs am Bohrpunkte zu kennen. Oder es
können auch nach der festgestellten Mächtigkeit der Porphyredecke die Bohrloch-
punkte ausgewählt werden. Können Sie mit Ihrer Untersuchungsmethode die
Mächtigkeit der Porphyrablagerung ermitteln?

Dr. Ambronn: Da die Porphyre sich von den liegenden Schichten im
allgemeinen durch ihre größere Härte unterscheiden dürften, würde die Schall-
geschwindigkeit in ihnen größer sein als in den liegenden Schichten. Man kann
also höchstwahrscheinlich mittels geoelastischer Methoden die gestellte Frage
lösen. Es wird zu einer genaueren Beantwortung notwendig sein, die elastischen
Eigenschaften der bei Halle vorkommenden Porphyrdecken und der zu ihnen
hangenden und liegenden Schichten, die ja in der Nachbarschaft auch sämtlich
anstehend anzutreffen sind, im Laboratorium zu bestimmen.

Berghauptmann Scharf: Es ist für die Bergbauunternehmer auch von Be-
lang zu wissen, wie hoch die Kosten für derartige Untersuchungen zu veran-
schlagen sind, falls die von Ihnen vertretene „Erda“, Gesellschaft für wissen-

schaftliche Erderforschung in Göttingen, mit Untersuchungsarbeiten in unserm Bezirke beauftragt würde. Darum erlaube ich mir schließlich noch an Sie die Frage zu richten, wie hoch sich ungefähr die Kosten für die besprochenen Untersuchungsarbeiten stellen würden unter Berücksichtigung der Zeit, die sie in Anspruch nehmen?

Dr. Ambronn: Die Kosten einer Untersuchung richten sich nach dem Aufwande an Zeit für die Messungsarbeiten im Gelände, wofür zurzeit pro Physiker 500 M. im Tage angesetzt werden. In den Fällen, wo ein besonders großer Materialverbrauch eintritt an Draht, photographischem Registrierpapier oder dergleichen tritt bei Übernahme der ganzen Untersuchung ein Fixum für derartige einmalige Aufwendungen dazu. Dagegen werden die Vorbereitungen für die Untersuchung, die meist recht umfangreiche rechnerische und graphische Auswertung der Messungen und die Ausarbeitung des zusammenfassenden Gutachtens, wenn damit nicht ganz besondere einmalige Aufwendungen verbunden sind, in den obengenannten Tagessatz für die Arbeiten im Felde an Ort und Stelle bereits mit einbegriffen und bleiben auf die Kostenberechnung ohne Einfluß.

Bei Frage 1 und 3 sind die Aufgaben nicht räumlich begrenzt, weshalb man die Dauer und damit die Kosten nicht abschätzen kann. Die in Frage 2 angedeutete Untersuchung würde etwa 10000 bis 12000 M. kosten.

Berghauptmann Scharf: Im Namen des Halleschen Verbandes danke ich Ihnen, Herr Dr. Ambronn, für Ihren fesselnden Vortrag und die wertvollen, den hiesigen Bergbau berührenden Auskünfte, die Sie uns in lebenswürdiger Weise noch gegeben haben. Vielleicht ist die Anregung am Platze, hier in Halle eine Zweiganstalt der Göttinger Gesellschaft zu errichten, denn Sie sehen, daß eine ganze Anzahl bergtechnisch wichtiger Fragen zu bearbeiten sind.

Braunkohlenquarzite (Knollensteine) und ihre technische Verwendung.

Von Dr. C. Gäbert, Geologe, Naumburg a. S.

	Seite
Einleitung	49
Auftreten, äußerer Habitus	50
Petrographischer Charakter	50
Chemische Zusammensetzung	51
Verbreitungsgebiete	52
Charakteristische geologische Profile	52
Bildungsweise	54
Aufsuchung, Abbau	55
Technische Verwendung	56

Einleitung.

Wie fast alle Sedimentgesteine haben auch die tertiären Quarzite die Geologen und Petrographen bei weitem nicht in dem Maße zu Untersuchungen gereizt, wie die Eruptivgesteine. Es sind nur spärliche Spezialarbeiten darüber erschienen.¹⁾ Dafür sind verstreute Notizen über das Auftreten von Knollen-

1) Besonders bemerkenswert sind: A. Planck, Petrographische Studien über tertiäre Sandsteine und Quarzite, speziell über die Sandsteine von Münzenberg in der Wetterau, Diss. Gießen 1910, W. Schubel, Über Knollensteine und verwandte tertiäre Verkieselungen, Diss. Halle 1911, und F. Wernicke und E. Wildschrey, Die Untersuchung der Quarzite und die Feststellung ihrer Verwendbarkeit in der feuerfesten Industrie, besonders zur Herstellung von Dinassteinen. Tonindustriezeitung 1910.