

## Systematische Erforschung des Erdinnern mittels elektrischer Wellen.

(Vortrag, gehalten am 27. April 1911 in einer gemeinsamen Versammlung der Elektrotechnischen Fachgruppe und der Fachgruppe der Berg- und Hütten-Ingenieure des „Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins“ in Wien.)

Von

Heinrich Löwy, Göttingen.

Wie Sie wissen, werden die Wellen der drahtlosen Telegraphie durch den Luftraum zwischen Sender und Empfänger auf Strecken von 1000 und mehr km vermittelt. Nun besitzt natürlich die Luft kein besonderes Monopol: auch andere Stoffe, insbesondere Gase, würden den elektrischen Wellen ebenso bereitwillig den Durchgang gestatten. In der Theorie der Elektrizität wird diese Eigenschaft der Stoffe, die elektrischen Wellen besser oder schlechter hindurchzulassen, zu drei anderen Eigenschaften der Stoffe in Beziehung gebracht: ihrer elektrischen Leitfähigkeit, Dielektrizitätskonstante und magnetischen Permeabilität. Durch Angabe dieser drei Zahlen ist das elektrische Verhalten eines Stoffes vollständig beschrieben; derart, daß zwei chemisch völlig verschiedene Stoffe, welche dieselben Werte jener drei Zahlen besitzen, vom elektrischen Standpunkt als identisch anzusehen sind. Ein Raumteil, welcher von wechselnden Lagen zweier solcher chemisch verschiedenen Stoffe erfüllt ist, würde dem Auge des Elektrikers von einer einheitlichen Substanz erfüllt erscheinen. Sehen wir der Einfachheit halber von der Dielektrizitätskonstante und der Permeabilität ab, so gilt der bekannte Satz, daß ein Stoff für elektrische Wellen um so durchlässiger ist, je geringer seine elektrische Leitfähigkeit ist. Ein Stoff leitet also elektrische Wellen um so besser, je schlechter er den elektrischen Strom leitet.

Wie steht es nun mit der Erde? Ist sie für elektrische Wellen durchlässig oder nicht? Das kommt nach dem eben erwähnten Satz auf die Frage hinaus, ob die Erde große oder geringe Leitfähigkeit hat. Die Elektriker unter Ihnen wissen, daß in allen bisherigen Experimenten, soweit die Erde darin eine Rolle spielt, ihre Leitfähigkeit als sehr groß angesehen wird, als ob man es mit einer Riesenmetallkugel zu tun hätte. Das verrät in deutlicher Weise der Ausdruck „erden“, der nichts anderes bedeutet, als „eine leitende Verbindung mit einem räumlich sehr ausgedehnten, sehr leitfähigen Körper herstellen“. Aus dem obigen

Satz folgt also, daß die Erde für elektrische Wellen undurchlässig ist.

Nun würde aber beim Erden eine sehr große Kugel von geringer Leitfähigkeit, die von einer metallischen Oberflächenschicht eingehüllt ist, dieselbe Rolle spielen wie eine massive Metallkugel. Es besteht hier nach die Möglichkeit, daß die Erde nur insofern für elektrische Wellen undurchlässig ist, als sie es in ihren obersten Schichten ist; während sie in größerer Tiefe sehr wohl durchlässig sein könnte. Die genauere Untersuchung zeigt, daß das in der Tat der Fall ist. Ohne auf diese Betrachtungen einzugehen, welche ich in der „Physikalischen Zeitschrift“ (11. Jg., 1910, S. 699) näher ausgeführt habe, will ich Ihnen kurz das Resultat mitteilen<sup>1)</sup>: Die Gesteine, so groß ihre Zahl und Verschiedenheit in petrographischer und geologischer Hinsicht ist, verhalten sich vom elektrischen Standpunkt betrachtet, d. h. wenn man nach dem Wert ihrer Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante fragt, im höchsten Grade gleichartig: im trockenen Zustande sind sie für elektrische Wellen durchlässig, im feuchten Zustande verhalten sie sich wie Metalle (oder Wasser). Diesen Satz, welcher das Fundament alles Folgenden ist, habe ich durch Leitfähigkeitsbestimmungen an einer großen Zahl von Gesteinen bestätigt gefunden. Die Messungen sollen — vervollständigt durch Bestimmungen der Dielektrizitätskonstante — demnächst veröffentlicht werden. Bei den Versuchen, welche ich Ende 1910 mit Herrn Dr. Gottlieb Leimbach zwischen den Kaliwerken in Ronnenberg und Weetzen (bei Hannover) ausgeführt habe, wurde zum ersten Male auf eine größere Entfernung (1,8 km) durch verschiedenartige Gestein hindurch telegraphiert<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Vgl. auch H. Löwy: Zentralblatt f. Mineralogie usw. 1911, S. 243–246.

<sup>2)</sup> H. Löwy: Zentralblatt f. Mineralogie usw. 1911, S. 247. Auch an dieser Stelle möchte ich den Direktionen der genannten Werke für das außerordentliche Entgegenkommen, das sie uns während der mehr als dreiwöchigen Dauer unserer Versuche bewiesen haben, unseren besten Dank aussprechen.

Die Erdkruste, als Ganzes betrachtet, können wir, wenn wir von größeren Tiefen absehen, als eine für elektrische Wellen durchlässige Kugelschale ansehen, die von einem sehr dünnen, metallischen Häutchen umspannt ist. Dieses Häutchen verdickt sich an manchen Stellen der Erdoberfläche, dort nämlich, wo sich die großen Ozeane ausbreiten; an anderen Stellen — in den Wüstenregionen der Erde — scheint es zerrissen. Hier können die elektrischen Wellen von der Erdoberfläche aus ins Innere eindringen; der Ausdruck „erden“ hat hier seinen Sinn verloren.

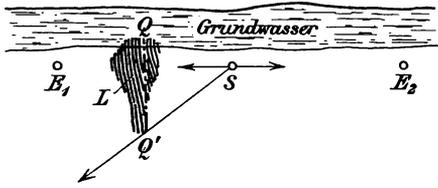


Fig. 1.

Schirmwirkung einer Erzlagerstätte gegenüber elektrischen Wellen.

- |                                 |  |                       |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| L                               | Erzlagerstätte.                            |                       |
| Q Q'                            | Ebener Schirm von gleicher Wirkung wie die |                       |
|                                 | Erzlagerstätte.                            |                       |
| S                               | Sendegerät                                 | } für elektr. Wellen. |
| E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> | Empfangsapparat                            |                       |

Zur Erforschung des Erdinnern nach nutzbaren Lagerstätten eröffnen sich nun verschiedene Möglichkeiten. Man kann etwa die Wellen von der Erdoberfläche aus ins Innere senden. Treffen sie dort auf eine undurchlässige Schicht (Erz oder Wasser), so werden sie wie Lichtstrahlen an einem Spiegel reflektiert und zeigen, nach der Erdoberfläche zurückgekehrt, das Vorhandensein von Erzlagern oder Grundwasser an. Eine derartige Methode kann natürlich nur in Wüsten oder sehr trockenen Gegenden angewandt werden. Sie ist das gegebene Mittel, um in solchen Gegenden Grundwasser aufzufinden. Die verhältnismäßig geringen Entfernungen von rd. 200 m, die hierbei in Frage kommen, haben wir, Herr Dr. Leimbach und ich, bei unseren Versuchen schon um das Zehnfache übertroffen.

Heute möchte ich aber Ihr Augenmerk auf eine andere Methode lenken, die von jener regionalen Beschränktheit frei ist und in feuchten Gegenden ebenso gut wie in trockenen anwendbar ist. Statt nämlich die Wellen von der Erdoberfläche aus zu senden, kann man in das Gebiet unterhalb der undurchlässigen Oberflächenschicht hinabsteigen und von hier aus die Wellen erregen. Wie das zu geschehen hat, bzw. ob das überhaupt an jedem Orte praktisch durchführbar ist, will ich zunächst unerörtert lassen.

In Fig. 1 seien S ein Sendegerät für elektrische Wellen, E<sub>1</sub> ein Empfangsapparat, die sich beide unterhalb des Grundwassersystems in völlig trockenem Gebiete befinden sollen. Dehnt sich nun etwa zwischen diesen beiden Punkten ein größeres Erzlager aus, so müßte nach dem Satz von der geradlinigen Ausbreitung der Lichtstrahlen der Punkt E<sub>1</sub> in den Schattenkegel zu liegen kommen. Indem also die von S ausgehenden Strahlen in E<sub>1</sub> nicht, dagegen sehr wohl in einer von S gleichweit entfernten Station E<sub>2</sub> (falls hier nicht auch ein Erzlager dazwischen liegt) empfangen werden, können sie zum Nachweise des Erzlagers dienen.

Nun gilt aber der Satz von der geradlinigen Ausbreitung der Licht- und elektrischen Wellen nicht in voller Strenge. In Wirklichkeit dringt ein Teil der Wellen in den Schattenraum ein, und zwar ein um so größerer Teil, je größer die Wellenlänge im Vergleich zur Ausdehnung des Schirmes ist. Bei den großen Wellenlängen, welche in der drahtlosen Telegraphie verwandt werden, wäre es möglich, daß die von S ausgehenden Strahlen so stark um das Hindernis (die Erzlagerstätte) herumgebogen werden, daß sich dasselbe ganz und gar dem Nachweise entziehen würde. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß eine nur geringe Verminderung der Empfangswirkung nicht zu einem sicheren Nachweise dienen könnte, da wir bei der ungeheueren Mannigfaltigkeit, die uns in der Natur entgegentritt, von vornherein nicht erwarten können, daß die Empfangswirkungen in E<sub>1</sub> und E<sub>2</sub> — selbst bei Abwesenheit jeglichen Metallagers — gleich sind. Nur eine sehr bedeutende Verminderung der Empfangswirkung ist beweisend. Ob das im allgemeinen der Fall sein wird, kann nur eine genaue quantitative Untersuchung unter Berücksichtigung der in der Wirklichkeit vorkommenden Verhältnisse lehren. Dieser Untersuchung wenden wir uns jetzt zu.

Um unser Problem der mathematischen Behandlung zugänglich zu machen, müssen wir es vereinfachen. Wir können natürlich nicht die sehr unregelmäßige Form des in der Figur gezeichneten Erzlagers berücksichtigen. Das ist aber auch gar nicht nötig; für die Größe der Schirmwirkung kommt offenbar nur die Ausdehnung des Querschnittes Q Q' in Betracht, und wir wollen unser Erzlager durch eine solche Metallfläche ersetzt denken. Wir fragen, um wieviel die Empfangswirkung in E<sub>1</sub> durch das Vorhandensein des Schirmes Q Q' vermindert wird? Dabei wollen wir den Schirm in seitlicher Richtung unendlich aus-

gedehnt denken, also nur die Beugung um die durch  $Q'$  (senkrecht zur Zeichenebene) gehende Kante berücksichtigen. Wir werden später zeigen, daß wir zu dieser Annahme berechtigt sind.

Nun ist bereits in der mathematischen Literatur ein derartiges Problem in voller Strenge gelöst worden, und wir sind in der angenehmen Lage, hier einfach das Resultat jener Untersuchung zu benutzen: es ist das berühmte, von Sommerfeld gelöste Problem der Beugung am geradlinigen Rande einer Halbebene<sup>3)</sup>. Daß eine so theoretische, mit keinerlei praktischem Hintergedanken unternommene Untersuchung in einer praktischen Frage von solcher Bedeutung werden kann, ist nur eine neue Bestätigung des Boltzmannschen Wortes, „daß nichts praktischer ist als die Theorie“.

Nur in zwei unwesentlichen Punkten unterscheidet sich das Sommerfeldsche Problem von dem uns interessierenden Fall. Einmal ist dort der Schirm auch nach oben (in senkrechter Richtung) als unendlich ausgedehnt gedacht; wir müßten also in Fig. 1 die Linie  $Q Q'$  über  $Q$  hinaus unendlich verlängert denken. Wir sehen aber leicht ein, daß unser Schirm  $Q Q'$  — infolge des Vorhandenseins der Grundwasserschicht — sich annähernd so verhält, als wäre er in dieser Richtung unendlich: keinesfalls können die Wellen um die durch  $Q$  gehende Kante herumgebogen werden. In dieser Hinsicht ist also die unendlich ausgedehnte Halbebene ein passendes Abbild der T-förmigen Begrenzung des realen Falles. Zweitens aber gehen bei Sommerfeld die Strahlen nicht von einer im Endlichen liegenden Quelle  $S$  aus, sondern fallen in Form einer ebenen Welle senkrecht auf den Schirm auf (gestrichelte Linien in Fig. 2). Diese Annahme bedeutet eine Verschlechterung gegenüber den wirklichen Verhältnissen, da bei ebenen Wellen der Schattenraum um den in Fig. 2 schraffierten Winkelraum verkleinert erscheint. Die wirklichen Verhältnisse werden also günstiger liegen als die theoretisch berechneten.

Indem wir jetzt an die numerische Berechnung herangehen, wollen wir, um unsere Gedanken zu fixieren, einen realen Fall in Betracht ziehen. Wir denken uns den

Empfänger  $E$  in Regensburg (in Bayern), den Sender  $S$  in der Nähe von Königgrätz (in Böhmen) aufgestellt. Entfernung 290 km. Die Verbindungslinie unserer beiden Stationen durchschneidet ziemlich in ihrer Mitte den Přebramer Gangzug, der annähernd in N—S-Richtung (h 11—1) streicht. Zurzeit sind die Gänge bis über 1000 m Tiefe verfolgt. Wir setzen also die Strecke  $Q Q' \sim h = 1000$  m. Die horizontale Entfernung  $d$  des Punktes  $E$  vom Schirm ist 150 km. Zur Überwindung der Gesamtentfernung ( $SE$ ) von rund 300 km wollen wir eine möglichst große Wellenlänge,

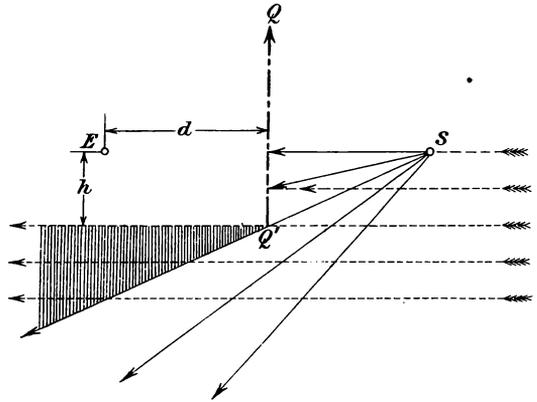


Fig. 2.

Verschiedene Schirmwirkung gegenüber büschelförmig und parallel verlaufenden elektrischen Wellen.

S Sendeapparat  
E Empfangsapparat } für elektr. Wellen.  
Q Q' Schirm.

etwa  $\lambda = 1000$  m, wählen, eine Wellenlänge, mit der man in der drahtlosen Telegraphie Tausende von Kilometern überwindet. Die Berechnung ergibt, daß die Empfangsintensität nur 19 Proz. der „Normalintensität“ (wie wir die Intensität bei Abwesenheit des Schirmes bezeichnen wollen) beträgt. Eine so bedeutende Verminderung der Empfangsintensität (die in Wirklichkeit noch größer sein dürfte) würde sich natürlich mit quantitativ arbeitenden Instrumenten mit voller Sicherheit nachweisen lassen.

Nun dürfte ja wahrscheinlich der Přebramer Gangzug nicht bei der Tiefe von etwa 1000 m, bis zu welcher er derzeit verfolgt ist, seine Endschafft nehmen. Die Golderzgänge im Bendigo-Goldfeld in Viktoria (Australien) sind — um nur ein Beispiel anzuführen — bis über 2000 m Tiefe verfolgt<sup>4)</sup>, und R. Beck weist darauf hin, daß

<sup>3)</sup> A. Sommerfeld: Mathematische Theorie der Diffraction; Math. Ann. 47, 1895, S. 317 (dargestellt in Drude: Optik; 2. Aufl., S. 190). Vgl. auch W. Voigt: Gött. Nachr. 1899, S. 1, wo der Fall inhomogener ebener Wellen behandelt wird, der in Gebieten mit einigermaßen zusammenhängendem Grundwassersystem der Wirklichkeit entsprechen dürfte.

<sup>4)</sup> Diese wie die folgenden Beispiele entnehme ich R. Beck: Lehre von den Erzlagern, 3. Aufl.

meist nur technische Schwierigkeiten schuld waren, wenn manche Erzgänge nicht in größere Tiefe verfolgt wurden. Dazu kommt, daß überhaupt in früherer Zeit Erzgänge für eine „Oberflächenerscheinung“ der Erdkruste gehalten wurden, während man heute weiß, daß das Vorkommen von Erzgängen bis zu jenen tiefgelegenen Regionen möglich ist, wo infolge zunehmenden Seitendrucks offene Spalten gleichsam von selbst geschlossen werden. Bei einer Tiefenerstreckung des Pflibramer Ganges bis 3000 m würde die Intensität der Wellen auf 14 Proz., bei 5000 m auf 12 Proz. ihres Normalwertes verringert. Wenn auch solche enormen Tiefen für den praktischen Bergbau nicht mehr in Frage kommen, so können sie doch den Nachweis des Lagers auf sehr erhebliche Art erleichtern.

Aus den folgenden Zahlentafeln erkennen Sie das allgemeine Gesetz, daß die Verminderung der Empfangsintensität um so ausgeprägter ist, je geringer  $d$ , die Entfernung zwischen Lagerstätte und Empfänger, und je größer  $h$ , die Tiefenerstreckung der Lagerstätte, ist. Im selben Sinne wirkt die Verringerung der Wellenlänge, wie aus dem Vergleich der Zahlentafeln für  $\lambda = 500$  m und für  $\lambda = 1000$  m hervorgeht<sup>5)</sup>.

Wellenlänge  $\lambda = 500$  m:

h = Tiefenerstreckung des Schirmes (Lagerstätte)	d = Entfernung zwischen Schirm (Lagerstätte) und Empfänger			
	25 km	50 km	100 km	150 km
500 m	18 Proz.	20 Proz.	22 Proz.	23 Proz.
1000 "	12 "	15 "	16 "	18 "
3000 "	3 "	5 "	8 "	11 "
5000 "	1,6 "	1,8 "	5 "	9 "

Verminderung der Empfangsintensität der Wellen

Wellenlänge  $\lambda = 1000$  m:

h = Tiefenerstreckung des Schirmes (Lagerstätte)	d = Entfernung zwischen Schirm (Lagerstätte) und Empfänger			
	25 km	50 km	100 km	150 km
500 m	19 Proz.	22 Proz.	23 Proz.	23 Proz.
1000 "	14 "	17 "	18 "	19 "
3000 "	6 "	8 "	12 "	14 "
5000 "	2 "	4 "	7 "	12 "

Verminderung der Empfangsintensität der Wellen

Bei unserer Berechnung haben wir angenommen, das Pflibramer Gangsystem sei in seitlicher Richtung unendlich ausgedehnt. Wäre es in Wirklichkeit auf einen schmalen Streifen von einigen hundert m beschränkt, dann würde es bei noch so bedeutender Tiefenerstreckung sich infolge der starken seitlichen Beugung vollständig dem Nachweis entziehen. In Wirklichkeit erstreckt es sich über ein schmales Gebiet von rund 8 km Länge<sup>6)</sup>, und die seitliche Beugung ist — wenn auch nicht vollständig zu vernachlässigen — doch von gleicher Größenordnung wie die Beugung um die untere Kante. In vielen anderen Fällen kann die seitliche Beugung ganz vernachlässigt werden: die Gänge im Harz z. B. erreichen Längen von 16 und 18 km, der Silbergang in Pachuca bei Mexiko 20 km; der goldführende Mother Lode in der Sierra Nevada (Kalifornien) gar 112 km. Das Freiburger Ganggebiet erstreckt sich auf 5 mal 15 km, das Ganggebiet von Linares in Spanien auf 12 mal 9 km. Für unseren Zweck ist es aber von entscheidender Bedeutung, daß im allgemeinen eine große horizontale Ausdehnung von Erzgängen mit einer großen Tiefenerstreckung verbunden ist: ein sehr breiter, aber nicht tiefer Erzgang würde sich ebenso dem Nachweise entziehen wie ein sehr tiefer, aber schmaler Erzgang. Glücklicherweise kommen derartige Fälle — im allgemeinen wenigstens — in der Natur nicht vor. Auf Grund der bisher vorliegenden Erfahrungen stellt R. Beck den Satz auf, „daß Gänge mit ausgedehnter streichender Länge auch in bedeutende Tiefe hinabsetzen, während Gänge, die oberflächlich auf nur kurze Entfernung nachgewiesen werden können, auch nach der Tiefe zu sich verlieren“<sup>7)</sup>.

Nun bitte ich Sie, Ihre Aufmerksamkeit den Zahlentafeln wieder zuzuwenden. Ich habe schon vorhin darauf aufmerksam gemacht, daß wir unser Problem auf eine für den vorliegenden Zweck ziemlich ungünstige Weise idealisiert haben. Nunmehr müssen wir uns die Art dieser Abweichungen — wenigstens in qualitativer Weise — klarzumachen suchen. Die Abweichungen haben im wesentlichsten ihren Grund in den beiden

<sup>5)</sup> Bei der Rechnung wurde die Cornusche Spirale (Drude: Optik; 2. Aufl., S. 180, Fig. 63) benutzt.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich an einem Beispiel zeigen, was für sonderbare Angaben man gelegentlich in den Prospekten der Praktiker findet. Im neusten Heft des „Jahrbuches für drahtlose Telegraphie“ (Bd. 4, 1911) wird eine neue fahrbare Militärstation nach dem neuen „Telefunken-system“ beschrieben; auf Seite 408 wird bemerkt, daß die

Reichweite der Station im Gebirge sich um rd. 50 Proz. verringert. Diese Angabe wird auf S. 416 bei Beschreibung der tragbaren Station wiederholt. Hier wird offenbar etwas für eine Apparatkonstante gehalten, was ausschließlich von den äußeren Umständen abhängt: die Verminderung der Reichweite wird — je nach Entfernung und Höhe des Gebirges — zwischen 0 und 100 Proz. schwanken.

<sup>6)</sup> Cotta: Gangstudien I, 1850, S. 314.

<sup>7)</sup> R. Beck: a. a. O., Bd. 1, S. 181.

Annahmen ebener Wellen und eines unendlich ausgedehnten Schirmes, die den wirklichen Verhältnissen nicht ganz entsprechen. Die Annahme ebener Wellen bedingt, daß die Beugung — gegenüber dem Falle kugelförmiger Ausbreitung — verstärkt erscheint, weil der Schattenraum um das schraffierte Gebiet (Fig. 2) verringert ist. Und diese Verringerung ist natürlich um so stärker, je tiefer der Schirm ist. Wir haben also die Zahlen in unserer Tabelle alle zu verringern, und zwar um so mehr, je größer der Wert von  $h$  ist. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen wir, wenn die Wellen sich nicht kugelförmig, sondern — wie es in Gebieten mit einigermaßen zusammenhängendem Grundwassersystem der Fall sein wird — längs der unteren Begrenzungsfläche des Grundwasserbassins fortpflanzen. Wir haben es in diesem Fall mit jenem Wellentyp zu tun, dessen Bedeutung für die drahtlose Telegraphie erst kürzlich erkannt wurde, mit sog. „inhomogenen Wellen“, deren Amplitude ungleichmäßig über die Wellenfläche verteilt ist, und die — im vorliegenden Falle — an der unteren Begrenzungsfläche des Grundwassers konzentriert sind. Hier sind schon für relativ geringere Tiefen die Ziffern der Zahlentafeln um einen größeren Betrag als zuvor zu verringern, dafür nehmen sie aber nicht mit wachsender Tiefe im selben Maße ab wie zuvor.

Was geschieht, wenn die Tiefe des Schirmes geringer und geringer wird? Dann muß sich offenbar der Wert der Empfangsintensität immer mehr dem Wert  $J_0$  bei Abwesenheit jeglichen Schirmes nähern; für  $h = 0$  müßte die Prozentzahl unserer Tabelle 100 lauten. Lassen wir nun aber den Empfänger immer mehr an die Grenze des geometrischen Schattens rücken, was ja — nach unserer Auffassung — einer immer zunehmenden Verringerung der Schirmtiefe entspricht, so nähert sich die Sommerfeldsche Formel dem Werte  $\frac{J_0}{4}$ ; die entsprechende Zahl lautet 25 statt 100. Hieraus ersehen Sie, in welcher Weise die Idealisierung unseres Problems für abnehmende Schirmtiefen immer mehr versagt: die Ziffern unserer Tabelle sind, wenn man von unten nach oben aufsteigt, um einen immer zunehmenden Betrag zu vergrößern.

Wir kommen also zu dem überraschenden Resultat, daß beide Faktoren: die kugelförmige Ausbreitung der Wellen und die T-förmige Begrenzung in gleichem Sinne dahin wirken, daß die Schirmwirkung in Wirklichkeit noch deutlicher ausge-

prägt ist, als nach den Ziffern der Zahlentafeln zu erwarten wäre.

Für eine Tiefe von 500 m treten in der Tabelle bereits Werte von 22 und 23 Proz. auf, die dem Grenzwert 25 Proz. (d. i. 100 Proz. im realen Falle) schon sehr nahe kommen. Das bedeutet, daß sich Erzgänge von nur 500 m Tiefe in Entfernungen von über 25 km dem Nachweise vollkommen entziehen. Ja, es ist wahrscheinlich, daß selbst zum Nachweise der Pöbbramer Lagerstätte bei unserem Beispiel eine Verringerung der Entfernung erforderlich ist.

Was für Erz gilt, muß natürlich in gleicher Weise für Wasser und feuchtes Gestein gelten. Bei der großen Verbreitung des Wassers im Erdinnern ist nun zu befürchten, daß dieses sehr oft in unerwünschter Weise das Vorhandensein von Erzlagern vortäuschen und überhaupt die Ausbreitung der Wellen auf größere Entfernungen unmöglich machen könnte. Noch im Jahre 1862 hat Delesse<sup>8)</sup> seinen Berechnungen die Annahme zugrunde gelegt, daß das Wasser bis zu einer Tiefe von 18500 m die Erdkruste ziemlich gleichmäßig durchtränkt, und noch Daubrée bringt in seinem 1887 erschienenen Buche „Les eaux souterraines à l'époque actuelle“ die auf Grund jener Annahme berechnete Zahl von 1:5 für das Verhältnis der in der Erdkruste inkorporierten Wassermenge zu jener der Meere. Die Erfahrungen des Bergbaus haben jene enorme Ziffer sehr wesentlich reduziert. R. Beck gibt als derzeit anerkannten Wert für die maximale Höhe der Grundwassersäule 500—600 m an und zitiert eine neuere Untersuchung, in welcher die Höhe nur mit 300—450 m bemessen wird<sup>9)</sup>. Unter „Grundwasser“ sind hierbei „die nach der Tiefe verfallenden atmosphärischen Wasser“ zu verstehen, gleichgültig ob dieselben in Klüften zirkulieren oder die Kapillaren des Gesteins erfüllen. Angenommen, der Grundwasserspiegel, d. i. die obere Begrenzungsfläche der Grundwassersäule, befindet sich in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche, dann würde bei den in den Zahlentafeln angegebenen Entfernungen selbst die maximale Höhe von 450 m keinerlei Hindernis für die Wellen bilden: diese würden sich einfach längs der unteren Begrenzungsfläche des Bassins, also längs einer gut leitenden Fläche fortpflanzen, was einen sehr günstigen Modus der Ausbreitung bedeutet, wie die Erfahrungen der trans-

<sup>8)</sup> Delesse: Bulletin de la Société Géologique de France (Paris 1862), 2. série, tome XIX S. 64.

<sup>9)</sup> R. Beck: a. a. O., Bd. 2, S. 309.

atlantischen Telegraphie gelehrt haben. Dasselbe gilt, wenn sich der Grundwasserspiegel in größerer Tiefe (200 und mehr m) befindet; nur benutzen jetzt die Wellen die obere Begrenzungsfläche zur Fortleitung; diese Fläche würde insbesondere dann, wenn sie in sehr großer Tiefe sich befindet, eine ähnliche Rolle spielen, wie sie — nach einer Vermutung von Poincaré — den leitfähigen Schichten der obersten Atmosphäre bei der drahtlosen Telegraphie zugeschrieben wird. Nur in dem Falle, wo sich der Empfänger (oder Sender) in unmittelbarer Nähe einer solchen Grundwassersäule befindet und diese bis nahe an die Erdoberfläche heranreicht, wäre die Wellenausbreitung behindert<sup>10)</sup>. Im ungünstigsten Falle hätte man also die Antenne in ein Bohrloch von etwa 500 m Tiefe zu versenken, und zwar so, daß die Äquatorialebene (bzw. der Strombauch der Schwingung) in die untere Begrenzungsfläche der Grundwassersäule zu liegen kommt. Die Antenne wird am besten (Fig. 3) symmetrisch ausgebildet<sup>11)</sup>: der nach oben gehende Draht wird an der Erdoberfläche umgebogen und in einem Abstand von derselben horizontal weiter geführt. Bei geringen Entfernungen, bei denen es nicht auf vollständige Ausnutzung der Schwingungsenergie ankommt, kann die Äquatorialebene an der Erdoberfläche belassen, also auf gewöhnliche Art geerdet werden. Gegen Regen muß das Bohrloch durch ein kleines Dach, gegen das von der Seite eindringende Grundwasser durch Verrohrung (gestrichelte Linien der Figur) geschützt werden; das anfänglich darin vorhandene Wasser muß durch Auspumpen und feinere Trocknungsverfahren<sup>12)</sup> gründlich entfernt werden.

In der Mehrzahl der Fälle jedoch werden Bohrlöcher von rd. 100 m ausreichen, um die Wellenausbreitung in völlig trockenem Gebiet zu verlegen; so insbesondere in unseren Gegenden, in ganz Norddeutschland und Schlesien, wo sich in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche undurchlässige Schichten vorfinden, die dem Tiefsickern des Wassers ein Ziel setzen.

Wenn also auch die Erfahrungen des

<sup>10)</sup> Eine solche ungünstige Situation wäre z. B. Königsberg i. Ostpr., wo 9 verschiedene Wasserhorizonte übereinander lagern, deren tiefster 288 bis 300 m unter Tag gelegen ist (Handb. d. Ingenieurwiss., 3. Teil, Wasserbau, 1. Bd., S. 68). Hier also nähert sich bereits die Gesamthöhe der Grundwassersäule ihrem Maximalwert.

<sup>11)</sup> oder an der unteren Begrenzungsfläche des Grundwasserbassins „geerdet“.

<sup>12)</sup> wie sie in der Praxis bei Erdölbohrungen zur Anwendung kommen.

Bergbaus und der Tiefbohrungen gelehrt haben, daß es kaum eine Tiefe gibt, in der man nicht gelegentlich auf Wasser und feuchtes Gestein gestoßen wäre, so zeigen doch die Ziffern unserer Tabellen in deutlicher Weise, daß die meisten derartigen Wasseransammlungen — infolge ihrer geringen räumlichen Ausdehnung — für die elektrischen Wellen kein Hindernis sind. Wasserführende Klüfte, die sich gelegentlich bei Tunnelbauten (Gotthard, Simplon) in so unangenehmer Weise geltend gemacht haben, würden, falls sie nicht in sehr große Tiefen herabreichen und zugleich ein mehrere qkm ausgedehntes Gebiet erfüllen, überhaupt nicht bemerkt werden. Ja, selbst die Maximalhöhe der Grundwassersäule liegt unterhalb des Wertes, bei welchem — gemäß unserer Zahlentafeln — in Entfernungen

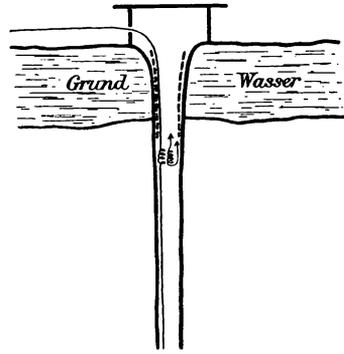


Fig. 3.

Bohrloch zur Erforschung des Erdinnern mittelst elektrischer Wellen.

von 25 km schon nahezu vollständige Beugung eintritt. Nun sind natürlich die erwähnten Angaben für die Höhe der Grundwassersäule nur rohe Schätzungen, und es ist bei der großen Mannigfaltigkeit der Natur sehr wahrscheinlich, daß sich gelegentlich sehr viel tiefere\* weit ausgedehnte Grundwasserbecken vorfinden werden. Die Auffindung solcher gewaltigen Wasserreservoirs könnte aber — ganz abgesehen von ihrem hydrologischen Interesse — mit Hinblick auf die Wasserversorgung von Gemeinden usw. gelegentlich von ebenso großem Werte sein wie die Auffindung einer Erzlagerstätte<sup>13)</sup>.

<sup>13)</sup> Nachträgliche Anmerkung: So dürfte auch der „Pfalz“, jener mächtige, bis in große Tiefen hinab zerklüftete Quarzgang (Länge 150 km, Breite 20 m), der — rd. 50 km von Regensburg entfernt — die Verbindungslinie Regensburg-Pföram durchschneidet, nur dann ein Hindernis für die Wellen sein, wenn von seinen Klüften die wasserführenden so dicht nebeneinander liegen, daß sie ein Reflexionsgitter nach Art des Hertzschen Drahtgitters bilden. — Auf das Vorhandensein dieser möglichen Störung wurde ich in der meinem

Für Beantwortung der Frage, ob man es in einem gegebenen Falle mit einer wasserführenden Schicht oder einem Erzlager zu tun hat, wird man sich natürlich zunächst an den Geologen wenden, der in genau erforschten Gebieten, wenn man ihm die Lage und bei-

gehender Weise benutzen wird. Die neue Methode erhebt durchaus nicht den Anspruch, die bereits vorhandenen zu verdrängen, sondern will einfach diesen helfend zur Seite treten und wird umgekehrt auch auf deren Hilfe vielfach angewiesen sein. Aber

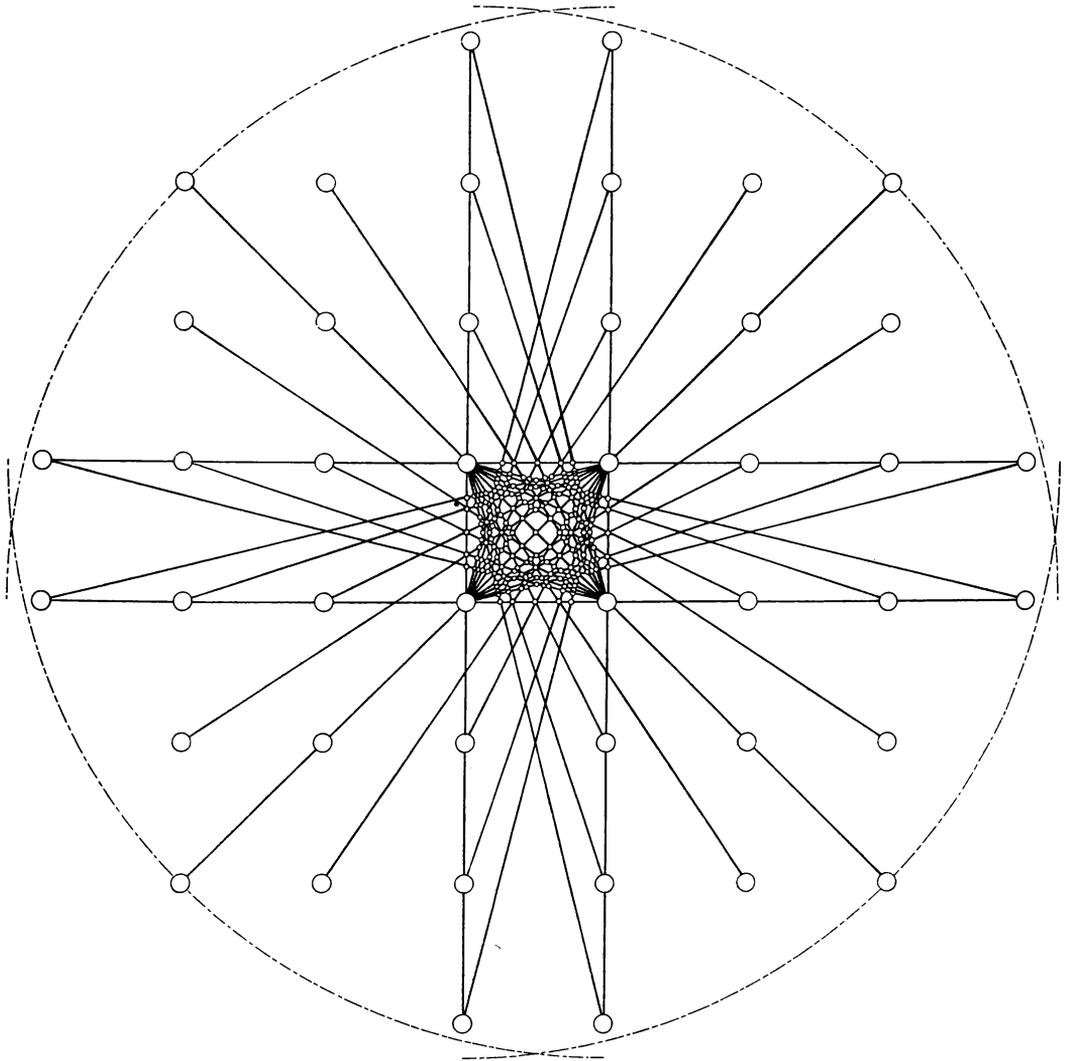


Fig. 4.

Netz von Bohrlöchern zur Erforschung des Erdinnern eines größeren Gebietes mittelst elektrischer Wellen. (Die im Netz gleichmäßig verteilten größeren Kreise geben die Bohrlöcher an; die kleinen Kreise geben die Punkte an, die sich innerhalb des zentralen Quadrats von den Bohrlöchern aus mittelst elektrischer Wellen erforschen lassen.)

läufige Ausdehnung der undurchlässigen Zone angibt, eine derartige Entscheidung vielfach mit großer Bestimmtheit treffen wird. Es ist nur selbstverständlich, daß man bei Diskussion der Meßergebnisse die geologischen Befunde, soweit solche vorliegen, in weit-

auch eine unmittelbare Entscheidung der Frage scheint mir keineswegs ausgeschlossen: es wäre nämlich möglich, daß die periodischen Veränderungen im Kreislaufe des Wassers, die sich in deutlicher Weise in den Schwankungen des Wasserstandes und der Abflußhöhe aussprechen, die Ausbreitung der Wellen im Erdboden in merklicher Weise beeinflussen. Wenn im Sommer Kluft- und Höhlenwässer versiegen, wie das

Vortrage anschließenden Diskussion von Herrn Dr. W. Petraschek (Geol. Reichsanstalt in Wien) freundlichst aufmerksam gemacht, dem ich auch die näheren Angaben verdanke.

beispielsweise in den Karstgebieten alljährlich beobachtet wird<sup>14)</sup>, so könnten sonst undurchlässige Gebiete sich mit einem Male als durchlässig erweisen. Die Frage: Wasser oder Erz? würde sich hiernach durch Ausdehnung der Beobachtungen über einen größeren Zeitraum beantworten lassen: periodische Schwankungen der Reichweitenverminderung würden auf Wasser, Konstanz auf Erz deuten.

Will man nun ein größeres Gebiet in systematischer Weise nach seinen nutzbaren Lagerstätten erforschen, so wird man eine Anzahl von Bohrlöchern (Fig. 3) etwa in Form eines quadratischen Netzes (Fig. 4) über das Gebiet verteilen. Mit einer verhältnismäßig geringen Anzahl solcher Stationen kann man das ganze zwischenliegende Gebiet mit elektrischen Wellen abfragen und sich einen ziemlich genauen Einblick in seinen

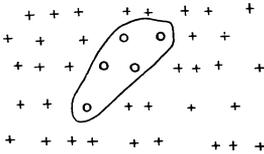


Fig. 5.

Feststellung der Lage und Erstreckung einer Erzlagerstätte.

(Die untersuchten Punkte, für die eine Verminderung der Empfangsintensität der elektrischen Wellen festgestellt wurde, sind durch Kreise, alle übrigen durch Kreuze angegeben. Durch Umgrenzung der Kreise läßt sich die Erzlagerstätte ungefähr angeben.)

Erzreichtum verschaffen. Zu einem ersten Überblick würde ein Quadratnetz von etwa 100 km Seitenlänge (des einzelnen Feldes) ausreichen. Für ein Gebiet vom Flächeninhalt Österreichs (rd. 300 000 qkm) wären hierzu 30 Bohrlöcher erforderlich, die bei einer mittleren Teufe von 150 m rd. 100 000 Mark kosten würden. Bei einer Reichweite von rd. 400 km würden in einem zentral gelegenen Elementarquadrat unseres Netzes rd. 200 Punkte variabler Tiefe erforscht. Das würde bereits eine ziemlich genaue Erforschung bedeuten. Durch Verminderung der Seitenlänge (der Elementarquadrate) auf 50 km würde die Genauigkeit, wie man leicht sieht, in ganz enormer Weise gesteigert. — Bezeichnet man alle Schnittpunkte jener Strahlenpaare, bei welchen eine bedeutende Verminderung der Empfangswirkung festgestellt wurde, durch kleine Kreise, alle anderen durch kleine Kreuze, so erscheint das Erzlager nach Lage und Form bestimmt (Fig. 5).

<sup>14)</sup> Vgl. etwa A. Supan: „Grundzüge der physischen Erdkunde“, 4. Aufl., S. 478 u. 489.

Hätte man alle Bohrlöcher, die bis zum heutigen Tage etwa in Deutschland gebohrt wurden, zur Verfügung, so würde man schon heute eine systematische Erforschung von großer Genauigkeit durchführen können. Da das nicht der Fall ist, wird geraume Zeit vergehen, bis an die Verwirklichung meines Planes zudenken ist. Aber schon heute, glaube ich, wird man es sich nicht entgehen lassen, überall da, wo zwei oder mehrere Bohrlöcher gleichzeitig zur Verfügung stehen, sich auf verhältnismäßig so einfache Weise die Kenntnis des ganzen zwischenliegenden Gebietes zu verschaffen.

Besonderen Erfolg wird man sich speziell in geologisch noch wenig erforschten Gebieten versprechen dürfen, wie man aus den folgenden Bemerkungen ersehen kann, die ich dem Vorwort zu dem großen Sammelwerke „The Iron Ore Resources of the World“ entnehme: „Es mag bis zu einem gewissen Grade euphemistisch sein, die vorliegende Untersuchung „Die Eisenerzvorräte der Welt“ zu nennen, vielleicht sollte der Titel besser „Unsere gegenwärtige Kenntnis der Eisenerz-Vorräte“ lauten. Ein Blick auf die allgemeine Karte zeigt dies in deutlicher Weise. Das scheinbar ausschließliche und häufige Vorkommen von bedeutenden Eisenerzlagern in Europa erklärt sich zweifellos in hohem Grade aus der Tatsache, daß dieser Teil der Welt schon so lange Zeit gekannt und zivilisiert ist, und daß Eisenerze in so starkem Maße erforscht und ausgebeutet wurden, um den Forderungen der rasch aufblühenden Eisenindustrie nachzukommen. Es ist wahrscheinlich, daß das Eisenvorkommen in anderen Teilen der Welt im selben Maße wächst, als die geologische Kenntnis dieser Gebiete fortschreitet und die Nachfragen nach Eisenerzen dort größer wird“<sup>15)</sup>.

Zum Schluß möchte ich Ihnen eine Folgerung aus den eben dargelegten Betrachtungen mitteilen, die über den vorliegenden Zweck hinaus von Wichtigkeit sein dürfte. Ich habe Ihnen zu zeigen versucht, daß die Verhältnisse im Erdinnern, speziell die geringe Leitfähigkeit der Gesteinsarten und ihre außerordentliche Gleichartigkeit in elektrischer Beziehung, die Ausbreitung der Wellen auf sehr große Entfernungen zu ermöglichen scheinen; daß andererseits die Tiefenerstreckung der weithin streichenden Erzgänge im allgemeinen ausreicht, um ihren Nachweis zu ermöglichen. Vergleichen wir nun diese unterirdischen Verhältnisse mit jenen an der Erd-

<sup>15)</sup> „The Iron Ore Resources of the World“, herausgegeben auf Initiative des 11. Internationalen Geologen-Kongresses von J. G. Anderson, Stockholm 1910, S. XIII.

oberfläche, so erkennen wir mit Überraschung, daß die Hindernisse, die sich den Wellen bei ihrer Ausbreitung an der Erdoberfläche entgegenstellen, wesentlich größer sind als im Erdinnern. Die tiefsten Erzgänge dürften nach einer Schätzung von Heim nicht tiefer als 5000 m gehen, während die Gebirge der Erde, die zu Regenzeiten völlig undurchlässig sind, Höhen von 8000 m erreichen. Dazu kommt, daß man in Gegenden mit einigermaßen zusammenhängenden Grundwassersystem den Vorteil hat, daß sich die Wellen längs einer gut leitenden Fläche fortpflanzen, ein Vorteil, den man sonst nur über Meer

genießt. Der Gedanke einer drahtlosen Telegraphie durchs Erdinnere auf große Distanzen gewinnt hierdurch praktische Bedeutung und man wird wohl — auf Grund der vorggeführten Abschätzungen — einen Versuch in dieser Richtung wagen dürfen<sup>16)</sup>. In Gebirgsgegenden dürfte sich diese neue Form der drahtlosen Telegraphie der alten sogar überlegen erweisen. Alle Stationen unseres Erforschungsnetzes, die sich nicht gerade in unmittelbarer Nähe eines größeren Erzlagers befinden, könnten also dem Nachrichtenverkehr dienstbar gemacht werden.

## Notizen.

### Neue Methoden

#### zur Verfeinerung des geologischen Kartenbildes.

Über neue Methoden zur Verfeinerung des geologischen Kartenbildes sprach O. Ampferer in einer Sitzung der K. K. Geologischen Reichsanstalt zu Wien.

Der Vortragende legte das erste Blatt der neu aufgenommenen Karte der Lechtaler Alpen im Maße 1 : 25 000 in zwei Darstellungsarten, der gewöhnlichen flächenhaften und der neuen linienhaften, vor und verglich eingehender die Ausdrucksfähigkeiten dieser beiden Methoden.

Während bei der alten Methode größere oder kleinere Schichtkomplexe durch einheitliche Farbflächen abgebildet werden, versucht die neue Methode alle Flächen in weit kleinere Schichtkomplexe aufzulösen. Solche natürliche kleinere Elemente sind bei den geschichteten Gesteinen die einzelnen Schichtenlagen, bei den ungeschichteten Sprünge, Klüfte, Absonderungen, Schlieren . . . Es erscheinen auf einer konsequent in dieser Art durchgeführten Karte keine Farbflächen mehr, sondern feine Wogen und Gitter von farbigen Linien.

Jede Formation wird durch ihre innere Struktur soweit als irgend möglich ausgedrückt.

Das kann aber nur dann zu richtigen Bildern führen, wenn die Schichtfugen, die Klüfte usw. auf der Karte entsprechend ihrer Projektion als Gehängeschnitte eingetragen werden.

Sind diese Eintragungen genügend reichlich und genau, was bei Karten von kleinem Maßstab ausgeschlossen ist, so enthält die Zeichnung alle wesentlichen Angaben der Struktur. Fallzeichen werden dadurch ganz entbehrlich, weil man aus dem Schnitt der geologischen Linien mit den Terrainflächen fort und fort die Raumstellung entnehmen kann.

Man kann sich ja in gewissem Sinne die Linienzeichnung eines Schichtkomplexes gerade-

zu aus zahlreichen und miteinander verbundenen Fallzeichen, aus den Fallzeichen der Schichtelemente entstanden denken.

Der Reichtum der geologischen Angaben einer solchen Karte übersteigt für dasselbe Gebiet vielmals den Inhalt einer nur flächenhaft gezeichneten Karte.

Des weiteren wird dadurch die Präzision der Einzeichnungen und damit die Kontrollfähigkeit bedeutend gefördert. Dagegen geht ein guter Teil der größeren Übersichtlichkeit verloren. Wie die Karte aus genauer Feldarbeit langsam und zähe entstanden ist, so zwingt sie den Beschauer auch zu sorgfältiger Lesung.

Während auf den älteren Karten sich meistens Gebiete von feinerem Detail und solche von großen ungliederten Flächen schroff gegenüberstehen, ist das bei der neuen Zeichnungsweise größtenteils aufgehoben. Fossilreiche oder petrographisch ausgezeichnete Zonen werden häufig in schmalen Farbbändern abgebildet, riesige Komplexe gleichartiger Schichtbänke oder Massengesteine dagegen mit einer summarischen Farbfläche dargestellt.

Das ist für eine große Reihe sehr verschiedener Fragen eine ungerechte Behandlung, eine zu große Beantwortung.

Durch die neue Zeichnungsart soll auch das reiche, vielfach noch unbekannt Detail solcher „geologischen Öden“ zutage gebracht werden. Es ist naheliegend, daß sich die besten Anwendungsgelegenheiten für solche Kartierungen im Hochgebirge oder in felsigen kahlen Regionen finden. Das Gebiet der Lechtaler Alpen erscheint für die Einführung dieser Arbeitsmethode in hohem Grade geeignet, wenn sich der Autor auch nicht verhehlt, daß die

<sup>16)</sup> Auf diese Möglichkeit habe ich zum ersten Mal in einer Notizin „The Electrician“, Mai 1911, S. 129 hingewiesen.