

Untersuchungen über die Abhängigkeit der Radioaktivität der Bodenluft von geologischen Faktoren.

VON HERRN GEORG VON DEM BORNE in Breslau-Krietern.

Hierzu Taf. I, II u. 8 Textfig.

ELSTER und GEITEL machten die Beobachtung, daß Luft, die durch ein Rohr dem Erdboden entnommen war, ein radioaktives Gas, eine sog. Emanation enthalte, und es gelang ihnen nachzuweisen, daß in Übereinstimmung mit dieser Tatsache die Bodenteilchen selbst Träger radioaktiver Eigenschaften seien.

Die Intensität der in beiden Fällen zu beobachtenden Aktivitätserscheinungen ist starken Schwankungen unterworfen, und bereits die Beobachtungen der genannten Forscher machten es wahrscheinlich, daß sie in erster Linie eine Funktion seien der geologischen Beschaffenheit des Punktes, dem die Untersuchungsobjekte jeweilig entstammten.

Ein gleiches gilt von der Radioaktivität von Quellwässern und Gasen, die dem Erdboden spontan entströmen.

Ein erster Versuch, über die Art der hier zu vermutenden Abhängigkeit Aufschluß zu gewinnen, soll die vorliegende Arbeit sein.

Nach der Desaggregationstheorie RUTHERFORDS und SODDYS, die z. Z. den Tatsachenkomplex, um den es sich hier handelt, zweifellos am befriedigendsten darstellt und die daher im Folgenden stets als zu Recht bestehend angenommen wird, beruhen die radioaktiven Phänomene bekanntlich auf dem Zerfall der Atome eines Elementes und der dadurch bedingten Bildung eines neuen Elementes. Diese Umwandlung geschieht schrittweise, diskontinuierlich, sodaß sich bestimmte wohldefinierbare Zwischenstadien unterscheiden lassen. Bei den uns interessierenden Radio-

elementen, dem Radium (Ra) und dem Thorium (Th) kommen die folgenden Einzelschritte in Betracht:

Radium	Thorium	fest, aktiv
	Th x	"
Ra-Emanation	Th-Emanation	gasförmig, aktiv
} Gruppe der { Ra-Induktionen	} Gruppe der { Th-Induktionen	} fest, aktiv.

Es herrscht bei diesen Umwandlungen das Gesetz, daß in einer gegebenen Zeitspanne ein bestimmter Bruchteil der jeweils vorhandenen Menge einer Stufe der Aktivitätsreihe in das nächste Stadium sich umsetzt. Die Größe dieses Bruchteiles ist eine charakteristische Konstante, durch die sich die Art des radioaktiven Ausgangselementes bestimmen läßt.

Bei der radioaktiven Umsetzung eines Elementes werden gewaltige Energiemengen frei. Zum größeren Teil treten dieselben auf als Wärme, zum kleineren aber in der Gestalt von Strahlungen, die gewisse andere Erscheinungen auszulösen vermögen.

Der thermische Teil der Radioenergie wird uns aus geologisch-theoretischen Gründen interessieren, weil er vielleicht im Wärmehaushalt des Erdkörpers eine ausschlaggebende Rolle spielt; der in Form von Strahlungserscheinungen auftretende aber ist deshalb für uns von Wichtigkeit, weil er der Beobachtung und Messung besonders leicht zugänglich ist.

Bringen wir einen radioaktiven Körper mit einem Gase in Berührung, welches den Zwischenraum zwischen zwei von einander isolierten elektrischen Leitern verschiedenen Potentials erfüllt, so beobachten wir, daß alsbald unter seiner Einwirkung sich durch das Gas hindurch ein elektrischer Strom ausbildet. In dem Gase haben sich durch die radioaktive Strahlung Ionen, frei bewegliche, elektrisch geladene Teilchen gebildet, das Gas ist, wie wir sagen, ionisiert worden und ist dadurch zu einem Leiter für die Elektrizität geworden.

Die Stärke des unter diesen Umständen entstehenden Stromes gibt einen Anhalt für die Stärke des wirkenden Ionisators, sie ist ihr unter gewissen Voraussetzungen proportional. Von diesen Voraussetzungen ist die wichtigste die, daß „Sättigungsstrom“ herrsche, d. h. daß die sich unter Einwirkung der radioaktiven Substanz bildenden Ionen so gut wie vollständig zur Ausbildung des Stromes verbraucht werden, und daß daher die Stromstärke von der Spannung unabhängig wird. Wir werden sehen, daß

man mit der Annahme, daß Sättigungsstrom herrsche, gerade in einem der wichtigsten Fälle sehr vorsichtig sein muß.

Der wichtigste Teil meiner Beobachtungen wurde unter Benutzung dieser ionisierenden Wirkung radioaktiver Substanzen ausgeführt. Radioaktive Substanzen wirken auch auf die photographische Platte und auf phosphoreszierende Körper. Ich habe aber nur in einigen Ausnahmefällen von der photographischen Wirkung Gebrauch gemacht.

Apparate und Methoden.

Bei den Beobachtungen an Bodengasen bringt die Natur der gestellten Aufgabe die folgenden Anforderungen mit sich:

1. Wegen der raschen zeitlichen Änderung der radioaktiven Emanationen müssen die Beobachtungen im Gelände angestellt werden. Daraus folgt als Anforderung an den Apparat: Leichtigkeit, leichtes Zusammenlegen, Derbheit.

2. Bei den Beobachtungen ergibt sich eine große Menge von Fehlerquellen, deren Einwirkung am zweckmäßigsten durch eine große Zahl von Einzelbeobachtungen zu eliminieren ist. Daraus folgt als Anforderung an die Methode das Zusammendrängen der einzelnen Beobachtung auf eine möglichst kurze Zeitspanne.

Nach Vorversuchen, die mit Apparaten und Materialien des Göttinger geophysikalischen Institutes gemacht wurden, für deren Ermöglichung ich Herrn Prof. WIECHERT zu Danke verpflichtet bin, schritt ich zur Konstruktion des im folgenden beschriebenen Apparates. In liebenswürdigster Weise unterstützte mich dabei Herr Dr. GERDIEN durch seine reichen Erfahrungen in luftelektrischen Beobachtungen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen besten Dank ausspreche. Ausgeführt wurde derselbe in vorzüglichster Weise von den Herren SPINDLER und HOYER in Göttingen.

Die Strommessung geschieht, wie allgemein üblich, auf elektrostatischem Wege, indem man die Geschwindigkeit bestimmt, mit der sich die Spannungsdifferenz zwischen den beiden durch das ionisierte Luftquantum getrennten Elektroden eines Zylinderkondensators ändert. Die Spannung wird mit einem Blättchen-elektrometer mit innerer Bernsteinisolation gemessen, welches von einem leichten Metallröhrenstatif getragen wird, wie dasselbe für photographische Zwecke käuflich ist. Es unterscheidet sich von der gebräuchlichen, von ELSTER und GEITEL angegebenen Form zunächst dadurch, daß es luftdicht gearbeitet ist. Auch sind seine Abmessungen so gewählt, daß seine Kapazität eine geringere geworden ist. Auf seinen 35 mm weiten oberen Hals wird die

äußere Elektrode des Kondensators in Gestalt eines zylindrischen Kessels aus $\frac{1}{2}$ mm starkem Kupferblech luftdicht aufgeschoben. Derselbe hat 18 cm Durchmesser und 20 cm Höhe. Der oben

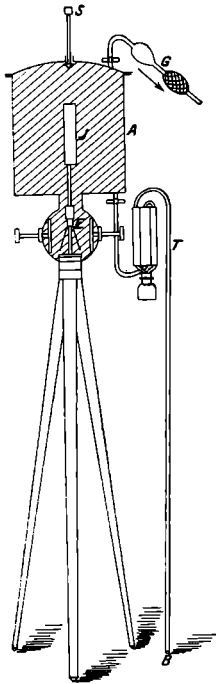


Fig. 1.

- E Elektrometer
 A äußere Elektrode
 I innere Elektrode
 S Ladesonde
 B Bohrloch
 T Trocken- und Entstaubungsrohre
 ▨ Ionisation (Emanation)

offene Kessel kann durch einen aus gleichem Materiale gefertigten schwach gewölbten Deckel geschlossen werden, der auf ihn durch federnde U-förmige Klammern angepreßt wird. Eine ringförmige Gummieinlage sorgt dafür, daß der Verschluß luftdicht ist. Kesselboden und Deckel sind mit messingnen Schlauchhähnen versehen. Durch den Deckel ist isoliert und luftdicht verschiebbar eine Sonde, die zum Aufladen der inneren Elektrode dient. Diese letztere besteht aus einem 1,25 cm starken und 10 cm langen Kupferzylinder. Der sie tragende Stift ist in der üblichen Weise in den Kopf des Blättchenträgers des Elektroskopes eingesteckt. Die zum Laden des Kondensators benutzte Zambonisäule trägt in der Mitte einen zylindrischen Messingkörper, dessen Durchmesser denjenigen der Säule selbst um etwa 1 cm übertrifft. Zum Transport der Säule werden auf ihn von beiden Seiten weite Messingrohre aufgeschoben, die dieselbe im übrigen nicht berühren. Des weiteren gehören zu dem Apparate, wenn derselbe zum Untersuchen von Bodenluftproben benützt wird: ein Gummigebläse (FRANÇOIS FONROBERT, Berlin, Gebläse No. $7\frac{1}{2}$), um die zu untersuchende Luft in den Kondensator zu befördern, ein System von 2,5 cm weiten starkwandigen Gummischläuchen, die Chlorcalcium zum Trocknen und Watte zum Entstauben derselben enthalten, dünne Gummischläuche zur Herstellung der nötigen Verbindungen, ein Erdbohrer und Messingrohre zum Ausfütern der Bohrlöcher. Das Elektrometer wird zum Transport in eine feste, mit Tragriemen versehene Ledertasche verpackt, der Kessel kommt in ein leichtes zylindrisches Handköfferchen. Die übrigen Teile wurden teils im Kessel, teils im Rucksack transportiert.

Um das Instrument vor Wasserkondensationen und den dadurch bedingten Isolationsstörungen zu bewahren, erwies es sich

als notwendig, dasselbe vor Eintritt in wassergesättigte Atmosphäre, wie sie z. B. vielfach in Bergwerken herrscht, zusammenzusetzen und so zu transportieren. Eine zweckentsprechende Einrichtung des Kesselkoffers ermöglichte dies.

Ich habe dieses Instrumentarium während meiner Arbeiten im Gelände stets mit größter Leichtigkeit allein transportiert. Es hat sich unter den schwierigsten Arbeitsbedingungen, z. B. in engen, warmen, feuchten Bergwerksräumen, stets auf das allerbeste bewährt.

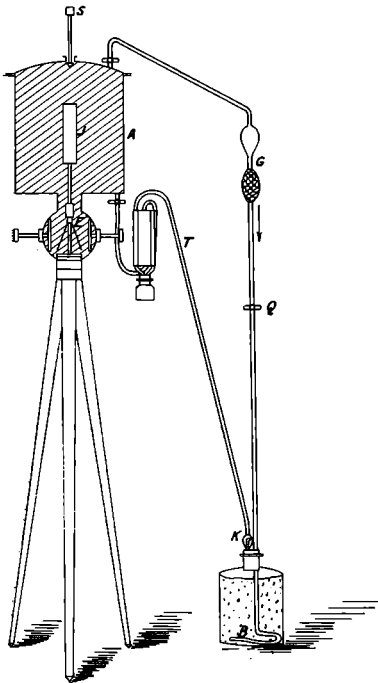



Fig. 2.

- E Elektrometer
- A äußere Elektrode
- I innere Elektrode
- S Ladesonde
- G Gebläse
- Q Quetschbahn
- B Brauserohr
- K Entwässerer
- T Trocken- u. Entstaubungsröhre
-  Ionisator (Emanation)

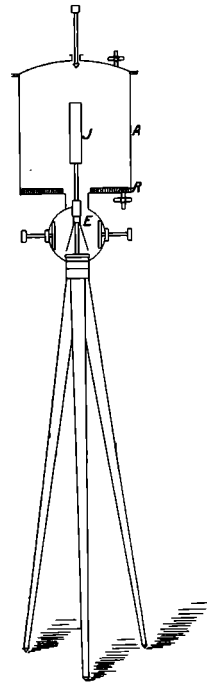


Fig. 3.

- (Anordnung B)
- R Ringschüssel
- A äußere Elektrode
- I innere Elektrode
- E Elektrometer
-  Ionisator

Für die Aktivitätsbeobachtungen an radioaktiven Wässern treten als Zubehörteile ein Quetschhahn und ein mit doppelter Durchbohrung versehener Gummistopfen hinzu. Dieser verschließt die Flasche, die das Untersuchungsmaterial aufzunehmen hat. In eine der Bohrungen ist ein Messingrohr eingesteckt, das bis zum Flaschengrund reicht. Hier ist auf dasselbe ein am anderen Ende verschlossener und beschwerter Gummischlauch aufgeschoben, dessen Wandungen von zahlreichen feinen Löchern durchbohrt sind. In der anderen Bohrung steckt, mit der Unterkante des Stopfens abschneidend, ein Wasserabscheider nach Kjeldahl (siehe Fig. 2).

Die Beobachtungen an festen Substanzen wurden ausgeführt, indem eine zweckentsprechende Menge derselben in einer ringförmigen Schlüssel in die äußere Elektrode eingebracht wurde. (siehe Fig. 3).

Um möglichst gut vergleichbare Werte zu bekommen, wurde soweit als irgend tunlich bei den Beobachtungen nach dem folgenden Schema verfahren:

1. Bei Gasen.

Aufstellen des Apparates nach Fig. 1, Beobachtung des Voltfalles bei mit Freiluft gefülltem Kessel; während der letzteren, falls erforderlich, Herstellung des Bohrloches (40 cm tief, wenn nichts anderes bemerkt) und der nötigen Schlauchverbindungen in folgender Weise: Gaseintritt (Bohrloch), Trockenrohr, Entstaubungsrohr, Kessel (bei leichten Gasen, z. B. Schlagwettern, oberer, sonst unterer Hahn), Gummigebläse, saugend wirkend. Füllung des Kessels mit Bodenluft durch 100 Drucke auf den Gummiball des Gebläses (Fördermenge etwa 15 l.) Schließen der Hähne am Kessel, falls nötig neues Aufladen der inneren Elektrode, deren Spannung während des Pumpens auf über 200 Volt Spannung gehalten wurde. Beobachtung des Blättchenganges während 20 Minuten, Ablesungen je nach Stromstärke alle $1\frac{1}{4}$ bis $2\frac{1}{2}$ Minute. Wenn nötig inzwischen neues Aufladen, sodaß die Spannung nicht unter 150 Volt sinkt. Bei sehr großer Stromstärke wurde der Durchgang der Blättchen durch bestimmte Teilstriche der Skala durch Sekundenzählen, später mit einer Arretierungsuhr zeitlich fixiert. Nach Abschluß der Beobachtung gründliches Putzen der beiden Elektroden, um Infektion durch Induktion zu beseitigen. Gegebenenfalls Transport des zusammengesetzten Apparats ins Quartier, um die Abfallgeschwindigkeit der Aktivität zu beobachten. Dauer einer Beobachtung einschließlich Aufbauen und Einpacken etwa 40 bis 80 Minuten.

2. Beobachtungen an Wasser.

Freiluftbeobachtung, während derselben: Beschaffung des Wassers und Herstellung der Schlauchverbindungen nach Fig. 2. Schaltungsschema: Gebläse (blasend wirkend), Niederschraubquetschhahn, Brauserohr, Wasser, Kjeldahlentwässerer, Trockenrohre, Entstaubungsrohr, Kessel (unten), Kessel (oben) Gebläse (saugend wirkend). 150 Drucke auf den Gebläseball, sodaß der Luftinhalt des Kessels etwa $4\frac{1}{2}$ mal das Wasser passiert. Der Quetschhahn ist dabei so eingestellt, daß diese Prozedur etwa 5 Minuten in Anspruch nimmt. (Vergleichsversuche mit Wasser, das mit bestimmten Mengen von Emanation infiziert war, ergaben, daß bei der beschriebenen Anordnung dann der Gleichgewichtszustand erreicht war). Behandlung der Spannung und Ablesungen wie oben.

3. Beobachtungen an festen Substanzen.

Freiluftbeobachtungen. Während derselben Abwiegen der erforderlichen Materialmenge. (Bei schwach aktiven Mineralien und Gesteinen in der ersten Zeit 80 gr, später nach dem Vorgang von ELSTER und GEITEL 125 gr) Einbringen der Substanz vermittelt einer ringförmigen Schüssel von 200 qcm Fläche in den Kessel. Apparatanordnung nach Fig. 3. Ablesungen wie oben.

Bei sehr stark aktiven und stark emanierenden Radiummineralien wurde, um Infektionen des Apparates zu vermeiden, die Beobachtung nach je 2,5 Minuten unterbrochen und der Kessel durch Abnehmen des Deckels und Heben und Senken der Ringschüssel gelüftet.

Aichung des Instrumentes.

Um aus den Ablesungen an dem Elektrometer die entsprechenden Stromstärken berechnen zu können, muß erstens die Empfindlichkeit des Elektrometers bekannt sein, d. h. man muß wissen, welcher Spannung eine bestimmte Blättchenstellung entspricht, zweitens aber muß man die elektrische Kapazität des ganzen Apparates kennen.

Die Empfindlichkeit der Blättchen wurde von Herrn Dr. GERDIEN einmal, von mir einmal im Göttinger geophysikalischen Institut und fünfmal im technisch-physikalischen Institut zu Jena durch Vergleich ihres Ausschlages mit den Angaben eines Präzisionsvoltmeters ermittelt. Außerdem wurde ihre Unveränderlichkeit durch häufige Beobachtungen einer unveränderlichen Normalaktivität (im Anfange einer verschlossenen Blechschachtel mit Uranacetat, später zwei Stücken uranhaltigen Glases — Glas F 3738 von Schott u. Gen. in Jena —) kon-

troliert. Die bei den ersten Messungen benutzten Blättchen hatten innerhalb des in Betracht kommenden Messungsbereiches eine Empfindlichkeit von etwa 10 Volt für den mm Blättchen-Abstand. Später wurden dieselben etwas unempfindlicher gewählt, sodaß die Empfindlichkeit nur noch etwa 7,5 Volt betrug. Es wurde dadurch ermöglicht, mit höheren Spannungen zu arbeiten und die Erreichung des Sättigungsstromes mehr zu sichern. Das Einkleben neuer Blättchen ist bei meinem Elektrometer durch zwei Einrichtungen sehr erleichtert: erstens ist der Blättchenträger nach Lösung einer Schraube aus dem Elektrometergehäuse nach unten heraus zu ziehen, zweitens aber ist das Profil des ersteren an der Stelle, an der die Blättchen angeklebt werden, etwas verändert worden (siehe Fig. 4). Beide Einrichtungen sind auf Anregungen des Herrn Dr. SCHERING-Göttingen zurückzuführen. Die Unveränderlichkeit eines Blättchenpaares war während seiner ganzen Lebensdauer stets eine befriedigende.

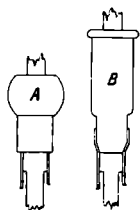


Fig. 4.
A alte, B neue
Form des
Blättchen-
trägerkopfes.

Die Kapazität des Instrumentes wurde in Göttingen durch Vergleich mit Normkapazitäten nach der Methode der Ladungsteilungen auf 12,4 cm ermittelt.

Die Kapazitätsänderung infolge der wechselnden Blättchenstellung blieb dabei unberücksichtigt.

Maßeinheiten.

Als Einheit der Aktivität wurde, wenn es sich um die Gegenwart von Emanation im Kessel handelte, also bei Gasen und bei Wasser, die von MACHE vorgeschlagene benutzt. Es ist danach die Aktivität gleich der Stärke desjenigen Sättigungsstromes, den ein l Gas oder ein l Wasser hervorzurufen vermag und zwar gemessen in $\frac{1}{1000}$ elektrostatischen Einheiten. Wir werden weiter unten sehen, daß eine einwandfreie Reduktion auf diese Einheit nicht immer durchführbar ist. Immerhin sind die Bedenken gering gegen diejenigen, die sich bei dem Versuche einer exakten Definition der Aktivitätsstärke eines festen Körpers auf Grund der erhaltenen Messungsergebnisse erheben.

Man pflegt die Aktivität eines festen Körpers zu definieren, indem man die Stärke des Sättigungsstromes vergleicht, den einmal ein bestimmtes Quantum dieses Körpers, ein zweites Mal ein bestimmtes Quantum einer Normsubstanz hervorruft. Benutzt wurden als Vergleichssubstanzen in der Regel chemisch wohldefinierte Uranverbindungen, deren Aktivität sehr genähert ihrem Urangehalt proportional gesetzt werden durfte. ELSTER

und GEITEL benutzten bei ihren Messungen neben Urankaliumsulfat vielfach als Vergleichssubstanz Fangoschlamm von Battaglia.

Ich versuchte, meine Messungen an festen Substanzen, an Uranacetat und an Fango anzuschließen.

Bei diesen Versuchen ergaben sich Widersprüche, die der Aufklärung bedurften.

ELSTER und GEITEL fanden, daß Urankaliumsulfat einen 118mal stärkeren Sättigungsstrom bedingte als Fango.

Ich fand Uranacetat (VON KAHLBAUM, Berlin) 1000mal so aktiv wie Fango, während sich aus der oben genannten ELSTER und GEITELschen Zahl der Wert 178 für das Acetat hätte berechnen lassen. Noch stärker weichen die von VICENTINI gegebenen Zahlen ab, wie sich aus der folgenden kleinen Tabelle entnehmen läßt.

Beobachter	Substanz	Spannungsabfall V. in der Stunde	Aktivität in „Fangoeinheiten“ Beobachter	Aktivität in Fangoeinheiten nach E. u. G. s Werten berech- net
ELSTER & GEITEL	125 gr. Fango	29	1	—
VON DEM BORNE	„	36	1	—
VICENTINI	18 gr Fango	(33)2,6	1	—
ELSTER & GEITEL	Urankaliumsulfat	—	118	118
VON DEM BORNE	6,7 gr Uranglacetat	1920	1000	178
VICENTINI	0,1 gr Uranyl nitrat	69	4780	149

Dabei stimmen die für Fango erhaltenen Werte, wenn man die ziemlich abweichenden Kapazitäten der Apparate in Betracht zieht, ziemlich genähert überein.

Wie erklären sich diese Widersprüche?

Um diese Frage zu beantworten, werden wir zweckmäßig die Vorgänge in dem Kondensator des Apparates in drei Teile zerlegen, indem wir nacheinander betrachten:

1. Die Strahlungsvorgänge in dem radioaktiven Körper.
2. Die Absorption dieser Strahlung in dem Gasinhalt des Kessels und die dadurch bedingte Ionisation des Gases.
3. Den infolge dieser Ionisation sich ausbildenden elektrischen Strom.

1. Die aus der Oberfläche eines radioaktiven Körpers austretende Strahlung ist bedingt durch die Strahlungsintensität der Masseneinheit des Körpers auf der einen und durch die im Inneren desselben stattfindenden Absorptionsvorgänge auf der anderen Seite.

Für die Absorption wollen wir als giltig das Gesetz annehmen, daß sie der Dichte des Körpers proportional und für jede bestimmte Komponente der Strahlung konstant sei. Es sei nun die Intensität der von Volumeinheit des zu betrachtenden Körpers produzierten Strahlung von einer bestimmten, homogenen Durchdringungskraft S , dieselbe werde, nachdem sie eine Schicht von der Dicke δ in dem Körper passiert, durch Absorption auf $\frac{S}{e}$ abgeschwächt. Die Dichte des Körpers sei ζ . Für den aus der Oberfläche austretenden Anteil $d\Sigma$ der Strahlung eines in der Tiefe T lagernden Teilchens dV gilt sodann die Gleichung:

$$d\Sigma = S \cdot e^{-\frac{T}{\delta}} \cdot dV.$$

Ziehen wir nun zunächst nur denjenigen Teil der Strahlung in Betracht, der die Masse senkrecht zur Oberfläche durchsetzt und wählen wir dV so, daß es eine parallel zur Oberfläche orientierte Platte von der Dicke dT und der Oberfläche 1 wird, so erhält unsere Gleichung die Gestalt:

$$d\Sigma = S e^{-\frac{T}{\delta}} \cdot dT.$$

Durch Integration finden wir die gesamte aus der Oberflächeneinheit eines Körpers von der Dicke D senkrecht austretende Strahlung:

$$\Sigma = S \cdot \delta \cdot \left(1 - e^{-\frac{D}{\delta}}\right)$$

Gilt das Dichtengesetz der Absorption, so wird $\delta = \frac{1}{a \cdot \zeta}$, wobei a die von der Natur des Körpers unabhängige Absorptionskonstante für die betreffende Strahlungskomponente ist. Sie ist ein echter Bruch, der sich um so mehr der 1 nähert, je stärker die Absorption ist. Wenn ferner g die auf der Flächeneinheit lagernde Substanzmasse bedeutet, so können wir schreiben:

$$\Sigma = S \frac{1}{a \cdot \zeta} \left(1 - e^{-g \cdot a}\right) \quad 1)$$

Mit wachsender Schichtdicke strebt die Oberflächenstrahlung einem Grenzwerte $\Sigma = \frac{S}{a \cdot \zeta}$ zu, den sie um so schneller erreicht, je stärker die betreffende Strahlung absorbiert wird.

Wir entwickeln nun das zweite Glied der Klammer in Gleichung 1) nach Potenzen von $g a$ und erhalten:

$$\Sigma = S D \left(1 - \frac{g \cdot a}{2!} + \frac{(g \cdot a)^2}{3!} - \dots \right) \quad 2)$$

Wird $g \cdot a$ im Verhältnis zu 1 klein, so können wir das zweite Glied der Klammer und die folgenden vernachlässigen und erhalten den Satz:

Bei geringer Schichtdicke ist die Strahlung an der Oberfläche der ersteren proportional, diese Proportionalität geht aber umso schneller verloren, je stärker die Strahlung absorbiert wird.

Ein natürlicher, fester radioaktiver Körper sendet nun stets ein Gemisch von Strahlungen der allerverschiedensten Durchdringungskraft aus. Der Anteil, den die einzelnen Komponenten von einer bestimmten Absorbierbarkeit an der Gesamtstrahlung nehmen, schwankt, auch wenn dasselbe radioaktive Ausgangselement vorliegt, innerhalb weiter Grenzen, je nach der Energie, mit der der Körper die von ihm entwickelte radioaktive Emanation festhält, und je nach dem Anteil, den daher sie und die späteren Stufen des Radioaktivitätsvorganges zur Gesamtstrahlung liefern.

Es seien nun $S_1, S_2 \dots S_n$, die Intensität $a_1, a_2 \dots a_n$ die Absorptionskoeffizienten für die einzelnen Komponenten eines derartigen Strahlungskomplexes. Dann wird

$$\Sigma = \frac{1}{\zeta} \left[\frac{S_1}{a_1} \left(1 - e^{-g \cdot a_1} \right) + \frac{S_2}{a_2} \left(1 - e^{-g \cdot a_2} \right) \dots \right. \\ \left. + \frac{S_n}{a_n} \left(1 - e^{-g \cdot a_n} \right) \right]$$

Bei sehr geringer Schichtdicke können wir nach Formel 2) schreiben

$$\Sigma = D (S_1 + S_2 + \dots S_n) \quad 3)$$

Es treten also bei geringer Schichtdicke die einzelnen Komponenten eines Strahlungskomplexes in einer ihrer Intensität proportionalen Stärke aus der Oberfläche aus. Bei einer unendlich dicken Schicht aber erhalten wir nach Formel 1)

$$\Sigma = \frac{1}{\zeta} \left(\frac{S_1}{a_1} + \frac{S_2}{a_2} + \dots \frac{S_n}{a_n} \right) \quad 4)$$

In einem aus einer sehr dicken Schicht austretenden Strahlungskomplexe überwiegen die durchdringenden Komponenten in höherem Maße, als ihrer Intensität entspricht.

Bei der Messung der Aktivität eines festen Körpers müssen wir die Menge desselben so regeln, daß die zu beobachtende Stromstärke innerhalb gewisser unterer und oberer Grenzen liegt. Je nach der Schichtdicke, die wir danach verwenden müssen, und je nach der Anteilnahme mehr oder minder durchdringender Komponenten stellt der aus der Oberfläche austretende Strahlungs-

komplex eine wesentlich verschiedene Abbildung der gesamten tatsächlichen Strahlung dar. Von einer Proportionalität zwischen erzeugter und austretender Strahlung kann im allgemeinen keine Rede sein.

Wie stark die Einflüsse der Schichtdicke sind, und bis zu wie geringen Substanzmengen hinab sie sich bemerkbar machen, mag die folgende Zusammenstellung belegen.

Menge des Ionisators (Pecherz von Breitenbrunn)	Oberfläche des Ionisators	Voltabfall in der Minute	Anmerkungen
1,7 mgr	9 qcm	2,5	
2,3 "	9 "	3,2	
42 "	9 "	11,6	
88 "	9 "	19,8	
112 "	3 "	14,4	
130 "	3 "	22,4	
265 "	3 "	27,0	} Stromstärke deutlich mit der Spannung veränderlich
460 "	3 "	32,5	
6,6 gr	15 "	188	
80 "	200 "	1000	

2. In unserem Kondensator befindet sich über der radioaktiven Substanz ein Gasvolum, welches durch die in ihm absorbierte Strahlung ionisiert wird. Wir setzen voraus, daß die Ionisierungsstärke, d. h. die Zahl der in Zeit- und Volumeinheit erzeugten Ionen der Stärke der in dem betreffenden Einheitsvolum des Gases absorbierten Strahlung proportional sei und daß das Dichtengesetz der Absorption auch in dem Gase gelte.

Wir betrachten zunächst wieder einen homogenen Strahl Σ , a , der senkrecht aus der Oberfläche des Ionisators austritt. Es sei ferner σ die Dichte des Gases, Σ_n der in einer unmittelbar über dem Ionisator lagernden Gasschicht von der Dicke h absorbierte Strahlungsteil, i_h die in der Zeiteinheit von der Einheit der absorbierten Strahlung erzeugte Ionenzahl. Dann werden in h in der Zeiteinheit

$$I_h = \Sigma_h \cdot i_h = i_h \cdot \Sigma \left(1 - e^{-h \cdot \sigma \cdot a} \right)$$

Ionen auf die Einheit der Oberfläche erzeugt und die Ionisierungsstärke I_h in h ist

$$I_h = \frac{i_h}{h} \Sigma \left(1 - e^{-h \cdot \sigma \cdot a} \right)$$

Als Einheit der Strahlung wollen wir nun diejenige bezeichnen, die durch Absorption die Einheit der Stärke des Sättigungsstromes bedingt, als Einheit der Ionisierungsstärke diejenige, welche durch ein Gasvolum 1 einen Sättigungsstrom 1 hervorruft. Dann vereinfacht sich unsere letzte Formel zu:

$$I_h = \frac{\Sigma}{h} \left(1 - e^{-h \cdot \sigma \cdot a} \right) \quad 5)$$

Der zweite Ausdruck in der Klammer werde nun wieder nach Potenzen von $h \cdot \sigma \cdot a$ entwickelt. Es wird sodann:

$$I_h = \Sigma \cdot \sigma \cdot a \left(1 - \frac{h \cdot \sigma \cdot a}{2!} + \frac{(h \cdot \sigma \cdot a)^2}{3!} \dots \right) \quad 6)$$

Wir entnehmen daraus das bemerkenswerte Gesetz:

Solange $h \cdot \sigma \cdot a$ im Verhältnis zu 1 klein ist, ist die Ionisierungsstärke unabhängig von h , und wir haben ein homogenes „Ionisationsfeld“; mit wachsendem h wird das Feld inhomogen, und die Ionisationsstärke in höheren Gasschichten wird schwächer und schwächer. Dieser Zustand tritt umso früher ein, je größer a ist, d. h., je leichter die Strahlung absorbiert wird.

Wenn wir einen Komplex von Strahlen verschiedener Durchdringungsfähigkeit haben, so werden sich die einzelnen Ionisationsfelder additiv übereinander lagern.

Außer den senkrecht zur Schichtoberfläche austretenden Strahlen existieren auch solche, die gegen die Oberflächennormale geneigt sind. Beträgt der Winkel eines solchen Strahles S , a mit der Normale φ , so wirkt er so, wie ein Strahl S , $\frac{a}{\cos \varphi}$

Die Erscheinungen werden also durch das Vorhandensein schiefer Strahlen nicht wesentlich geändert.

Das resultierende Feld ist in der Nähe des Ionisators, wo die Einwirkung der leicht absorbierbaren α -Strahlen überwiegt, stark inhomogen, etwa bis in eine Entfernung von 5 cm. In dem restlichen Teile des Kondensatorgefäßes ist der größte Teil der Ionisation auf stark durchdringende Strahlung zurückzuführen, das Ionisationsfeld ist bei den uns interessierenden Apparatdimensionen homogen. Der Übergang zwischen den beiden Feldesformen wird, da Strahlen mittlerer Durchdringungskraft im allgemeinen fehlen, ein ziemlich unvermittelter sein. Durch das Auftreten schiefer Strahlen wird er aber gemildert.

Durch Diffusion der Ionen werden die Inhomogenitäten des Feldes geschwächt, ohne daß sie vollständig verschwinden.

3. Wenn wir nun zwischen den Elektroden unseres Kondensators eine elektrische Potentialdifferenz herstellen, so bildet sich als eine Funktion des so hervorgerufenen elektrischen Feldes und

des vorhandenen Ionisationsfeldes ein elektrischer Strom aus. Derselbe wird ein proportionales Maß der gesamten, in dem Kondensatorgefäß vorhandenen Ionisation dann sein, wenn überall das elektrische Feld im Verhältnis zum Ionisierungsfelde so stark ist, daß die spontane Wiedervereinigung der Ionen, die Molsierung, keine erhebliche Rolle spielt, sondern gegen den Ionenverbrauch durch den Strom verschwindet. Wir müssen also verlangen, daß überall im Kondensator Sättigungsstrom herrsche. Die Bedingungen für das Zustandekommen desselben sind bei einem homogenen Ionisationsfelde, wie wir dasselbe z. B. mit hoher Annäherung durch das Einleiten von Emanation herstellen können, bis zu erheblich größeren Stromstärken hinauf erfüllt, als in dem inhomogenen Felde eines festen Ionisators.

Zur Erläuterung dieser Tatsache möge die folgende Tabelle dienen, in der Beobachtungen von mir über die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung einmal in einem durch Uranacetat, das andere Mal in einem durch Radiumemanation hervorgerufenen Felde wiedergegeben sind.

Mittlere Spannung in Volt	Voltfall in der Minute bei 12 gr Uranocetat	Voltfall in der Minute bei Pecherzemanation
222	44,1	52,4
206	41,0	52,6
190	40,2	52,1
174	39,5	
	Mittel aus 16 Beobachtungen.	Mittel aus 8 Beobachtungen. Einzelwerte stark abweichend.

Das äußere Kennzeichen des Sättigungsstromes, die Unabhängigkeit der Stromstärke von der Spannung ist aber nur ein notwendiges, kein hinreichendes Kennzeichen dafür, daß alle Ionen zur Strombildung verbraucht werden. Es kann ein Teil des Ionisationsfeldes, z. B. das stark inhomogene Feld der leicht absorbierbaren Strahlen in einem so schwachen Teile des elektrischen Feldes liegen, daß er zur Strombildung überhaupt nicht wesentlich beiträgt. Das ist nun, wie mir aus den im folgenden beschriebenen Versuchen hervorzugehen scheint, in ganz hervorragendem Maße bei der ELSTER und GEITELschen Anordnung der Fall.

Es wurden bei diesen Versuchen mit einander verglichen:

1. Mein Apparat in der oben beschriebenen Anordnung (in der Tabelle mit B. bezeichnet. Siehe Fig. 3.)
2. Eine Nachbildung der ELSTER und GEITELschen Anordnung (in der Tabelle mit E. bezeichnet).

Mein Elektroskop war auf einem Brettchen geschraubt, das mit Metallpapier bedeckt war; den Fuß desselben umgab die

Ringschüssel, in welcher sich die Ionisatoren befanden. Das ganze war von einer zylindrischen Haube aus starkem Papier von 28 cm Durchmesser und 38 cm Höhe überdeckt, deren Innenseite durch Chlorkalziumlösung leitend gemacht war. Ein kleines Loch in der Vorderseite der Haube wurde durch die Beobachtungslupe geschlossen. Die innere Elektrode hatte die Dimensionen des ELSTER-GEITELschen Zerstreungskörpers (siehe Fig. 5).

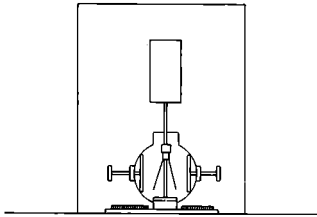



Fig. 5.

Anordnung E

 Ionisator.

3. Nachbildung der Versuchsanordnung nach VICENTINI (in der Tabelle auf S. 16 mit V bezeichnet). Auf die obere Endfläche der inneren Elektrode meines Apparates in meiner Anordnung wurde ein Blechschälchen gekittet, das den Ionisator aufnahm.

4. Meine Anordnung, aber statt der inneren Elektrode eine solche von den Dimensionen des ELSTER-GEITELschen Zerstreungskörpers. (In der Tabelle auf S. 16 mit BE bezeichnet.)

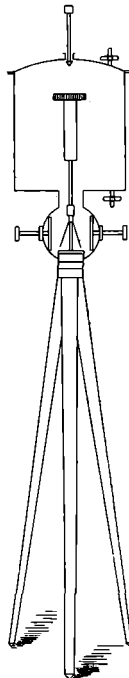


Fig. 6.

Anordnung V

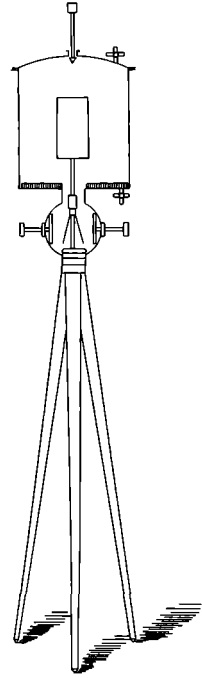

 Ionisator.


Fig. 7.

Anordnung BE

 Ionisator.

Ich ziehe aus diesen Zahlen die folgenden Schlüsse:

Die bei den Anordnungen B und V und bei bedecktem Präparate, also mit durchdringender Strahlung gewonnenen Ergebnisse sind fast gleich; bei V sind sie, der vergrößerten Kapazität entsprechend, etwas kleiner. Das Feld dieser Strahlung war also im wesentlichen homogen, sodaß die Verlegung des Ionisators im elektrischen Felde ohne Wirkung blieb.

Anordnung des Apparats	Des Ionisators			Spannungsfall V/min.	Bemerkungen	
	Art	Gewicht	Oberfläche			Bedeckung
B	Uranylacetat	1 gr	15 cm ²	0	10,9	{ Durchschnittswert, Stromstärke v. d. Spannung abhängig.
B	"	"	"	0,1 mm Papier	3,8	
V	"	"	"	0	14,4	
V	"	"	"	0,1 mm Papier	3,4	
BE	"	12 gr	60 cm ²	0	42	
E	"	"	"	0	10,9	
BE	Fango	125 gr	200 cm ²	0	0,57	
E	"	"	"	0	0,64	
BE	"	"	"	0,1 mm Papier	0,47	

BE und E sind weniger streng vergleichbar, da die Kapazität und das ionisierte Luftvolum sehr von einander verschieden sind. Die nahe Übereinstimmung der mit der stark durchdringenden Fangostrahlung gewonnenen Zahlen beruht also z. T., aber auch nur z. T. auf zufälligen Kompensationen. Der Fangowert des Uranylacetats berechnet sich aus den E-Beobachtungen in Übereinstimmung mit den ELSTER und GEITELschen Zahlen auf 177. Auch hierbei werden zufällige Kompensationen eine Rolle gespielt haben.

Ganz anders wird das Bild, wenn wir die stark durchdringende Strahlung und das inhomogene Ionisationsfeld des unbedeckten Uranylacetats betrachten. Die Ionisation ist hier am besten durch V ausgenutzt, in geringem Abstände folgt B. Ganz gewaltig aber wird der Unterschied zwischen BE und E. Bei der letzteren hat die leicht absorbierbare Strahlung offenbar überhaupt garnicht gewirkt, der Luftraum zwischen der Unter- und Oberkante des Elektrometergehäuses hat als Strahlenfilter funktioniert, und die in ihm erzeugten Ionen sind lediglich durch Moliierung verbraucht worden.

Daraus würde folgen, daß die E-Anordnung und ihr Vorbild, der ELSTER und GEITELsche Apparat, auch homogene Ionisationsfelder, z. B. solche, die durch Emanation gebildet wurden, nicht vollständig ausnützt. Vielleicht sind die Widersprüche, die sich zwischen den von MACHE und von CURIE und LABORDE für die Aktivität der Gasteiner Quellgase ermittelten Werten ergaben, ein Beweis für diese Anschauung.

In die auf S. 12 gegebene Formel für die Ionisationsstärke geht die Dichte des betreffenden Gases ein. Dieselbe Sättigungsstromstärke, auch wenn sie in demselben Apparate beobachtet wurde, entspricht also, wenn Gase verschiedener Dichte vorliegen, nicht demselben Emanationsgehalte, auf dasselbe Volum oder auf dasselbe Gewicht bezogen. Bei einem Apparate von den Abmessungen des meinigen würde das erstere der Fall sein, wenn wir nur leicht absorbierbare, das letztere, wenn wir nur durchdringende Strahlung vor uns hätten. In der Tat werden auch hier bei inhomogenen Strahlungskomplexen außerordentlich komplizierte Beziehungen walten.

Quantitativ vergleichbare Messungen an festen Körpern von sehr verschiedener Stärke der Aktivität wird man am ersten erzielen können, wenn man ausschließlich die durchdringenden Strahlen berücksichtigt, da Oberflächenstrahlung und Ionisationsstärke bei ihnen innerhalb sehr weiter Grenzen der Substanzmenge proportional sind.

Die leicht absorbierbare Strahlung wäre bei derartigen Messungen durch ein geeignetes Filter zu beseitigen. Unzulässig ist dabei natürlich die Verwendung eines Teiles des Gasraumes des Kondensators als Filter. Vielmehr ist die Forderung zu stellen, daß auch das elektrische Feld möglichst homogen das Ionisationsfeld überlagert.

Versuche über die Anteilnahme schwach durchdringender Strahlen an der Oberflächenstrahlung, sowie über das Emanationsvermögen hätten sich in jedem einzelnen Falle anzuschließen.

Über den Gehalt eines Untersuchungsobjektes an dem einen oder anderen Radioelement geben aber auch die auf diesem Wege gewonnenen Zahlen keinerlei Aufschluß. Es ist ferner zu bemerken, daß die Empfindlichkeit eines Apparates durch die Aichung mit einer Normalaktivität, etwa mit einem Uransalz oder mit Fango, nicht ausreichend charakterisiert ist. Eine solche kann nur dazu dienen, die Konstanz seiner Empfindlichkeit, z. B. auf einer Reise, unter Kontrolle zu halten, wie dies bereits erwähnt wurde.

Da bei den im folgenden zu beschreibenden Beobachtungen an festen Substanzen ein Filter noch nicht benutzt wurde, so waren irgend welche Reduktionen unzulässig. Es wurde daher nur der durch die Substanz bewirkte $\frac{\text{Voltfall}}{\text{Minute}}$ ($= \Delta V.$) angegeben.

Beobachtungen.

Die Beobachtungen gliedern sich nach Zeit und Ort ihrer Ausführung in sechs Gruppen, die in Göttingen, am Rhein, zu

Neunkirchen (Bez. Saarbrücken), im Erzgebirge, in der Neumark und in Jena ausgeführt wurden. Es wird am zweckmäßigsten sein, sie in dieser Reihenfolge zu besprechen.

Göttinger Beobachtungen.

Bei Göttingen wurde an drei Punkten der Emanationsgehalt der Bodenluft beobachtet.

1. Im Garten des geophysikalischen Institutes. Das Bohrloch war 40 cm tief, es stand in mergeligem Verwitterungslehm des oberen Muschelkalkes. Tieferes Bohren war nicht möglich, da eine harte Bank getroffen wurde. ($\Delta V = 0,7$)

2. Im Grunde einer tiefeingeschnittenen, steilwandigen Schlucht, nördlich der Rehkopf'schen Ziegelei bei Rohns Volksgarten. Zwei Bohrlöcher von 0,5 und 1 m Tiefe, 2 m von einander entfernt, zeigen an verschiedenen Tagen Werte, die wenig um $\Delta V = 5,5$ schwanken. Am 3. August steigt bei dem flacheren Bohrloch kurz vor dem Ausbruche eines Gewitters ΔV rapide auf 7,5. Gestein: alluvialer (?) Kalktuff.

3. Etwa 50 m westlich von dem vorigen Punkte, am Ausgang von Rohns Volksgarten zum Rohnsweg zwei Bohrlöcher, 0,4, und 0,6 m tief, an verschiedenen Tagen geringe Schwankungen um $\Delta V = 3,7$. Gestein: Lößlehm.

Die Göttinger Werte sind mit den später gewonnenen nicht vergleichbar, da die provisorischen Einrichtungen andere Ergebnisse liefern mußten, wie die definitiven.

Sie zeigen aber bereits die folgenden Ergebnisse: Der Emanationsgehalt der Bodenluft wechselt stark mit dem Beobachtungsort. Er ist im allgemeinen für einen Punkt konstant und bei den verwendeten Bohrlochstiefen von diesen unabhängig. Extreme Witterungsverhältnisse vermögen ihn aber stark zu ändern.

Beobachtungen am Rhein.

Während meines Aufenthaltes am Rhein waren noch verschiedene Mängel des Apparates abzustellen. Auch war ich anderweitig in Anspruch genommen. So konnte die Zahl der Beobachtungen nur eine sehr beschränkte werden.

Auffallend niedrig ist der Emanationsgehalt der aus Bimssteinsanden am Nordufer des Laachersees gewonnenen Bodenluft $E = 0,02$ (wie im folgenden stets in „Macheschen Einheiten“ gegeben). Der Versuch wurde in unmittelbarer Nähe mit dem gleichen Erfolge wiederholt. Der Boden war sehr locker, so daß die Bohrlöcher mit Leichtigkeit auf 1 m Tiefe gebracht werden konnten. Vielleicht ist darin und in der dadurch be-

dingten erleichterten Diffusion der Emanation aus dem Boden heraus die Erscheinung begründet.

Der Emanationsgehalt im Rheinalluvien (500 m unterhalb der Lahnmündung, 50 m vom rechten Rheinufer, Bohrlochtiefe 60 cm) betrug $E = 0,63$; er ist in Betracht der Bodenbeschaffenheit als normal zu bezeichnen.

Einer genaueren Besprechung scheinen mir die Ergebnisse meiner Untersuchungen an den Oberlahnsteiner und Rhenser Mineralquellen wert zu sein.

Auf dem Grundstücke „Victoriabrunnen“ zu Oberlahnstein entströmt dem Bohrrohr des „Sprudels“ eine Wassermenge von etwa 66000 ltr und eine Kohlensäuremenge von etwa 150000 ltr in der Stunde (nach freundlicher Auskunft der Brunnenverwaltung). Der Emanationswert der Kohlensäure betrug 1,25, derjenige des Wassers in Jena vier Tage nach der Abfüllung 0,034. Unter der Annahme, daß Radiumemanation vorliegt, würde man daraus für den Augenblick der Füllung einen Emanationswert von etwa 0,06 berechnen können. Das Wasser eines zweiten, gasärmeren Bohrloches von demselben Grundstücke ergab in Jena den Wert 0,6, woraus für Oberlahnstein ein solcher von 1,2 folgen würde. Diese Emanationsgehalte mögen gering erscheinen, wenn man sie mit den später mitgeteilten vergleicht, das Bild verschiebt sich aber, wenn man die großen Quantitäten in Betracht zieht, um die es sich hier handelt. Die Bodenluft werden wir als im wesentlichen in den Poren des Erdbodens stagnierend voraussetzen dürfen. Die Emanation kann sich daher, auch wenn sie ihr nur im schwachem Strome zugeführt wird, bis zu erheblicher Konzentration anhäufen. Anders in dem vorliegenden Falle, wo es sich um einen mächtigen kontinuierlichen Strom von Gas und Wasser handelt. Es bestätigt sich so die schon von BISCROF gemachte Bemerkung, daß den Mineralquellen ganz ungeheure Gesteinsmengen für ihre Mineralisierung zur Verfügung stehen müssen, wenn wir nicht über das Emanationsvermögen tieferer Erdschichten Annahmen machen wollen, die aus anderen Gründen gegen die Wahrscheinlichkeit sprechen.

Von Interesse ist es auch, aus dem Vergleiche der beiden Quellaktivitäten zu entnehmen, bis zu wie hohem Grade das Wasser des Sprudels durch die ihm entströmende Kohlensäure entemanirt wird, eine Tatsache, die übrigens auch bereits von anderer Seite an anderen Quellen bemerkt worden ist.

Dem Victoriabrunnen gegenüber liegen am anderen Rheinufer die Rhenser Mineralquellen. Die Kohlensäure der Quelle I zeigte einen Emanationswert von 0,53, diejenige von Quelle II einen solchen von 0,46. Die Wasserlieferung von Quelle I beträgt

11,7 cbm in der Stunde, die Kohlensäurelieferung etwa 20 cbm; das von den Rhenser Brunnen gelieferte Emanationsquantum ist also absolut und prozentual viel geringer als beim Victoriabrunnen.

Beobachtungen bei Saarbrücken.

Im Saarbrücker Steinkohlenrevier studierte ich vor allem den Emanationsgehalt der den Steinkohlenflözen entströmenden Kohlenwasserstoffe und die sonstigen Grubenwetter in radioaktiver Hinsicht. Dank der außerordentlichen Zuverlässigkeit der Kgl. Bergwerksdirektion zu Saarbrücken und der Kgl. Berginspektion zu Neunkirchen ist es mir dabei möglich gewesen, eine große Anzahl von Beobachtungen auch unter Tage auszuführen. Ich möchte nicht verfehlen, allen Herren, die sich dabei für mich bemühten, auch an dieser Stelle meinen allerverbindlichsten Dank auszusprechen.

Die Beobachtungen an Schlagwettern gebe ich in der folgenden Tabelle wieder. (E = Emanationswert nach MACHE.)

Schlagwetter von Grube „König“ bei Neunkirchen.

Entnahmestelle des Gases	E.	Nro.
Gasometer d. Schlagwetterversuchsstrecke	0,14	1
Leitung zur Versuchsstrecke, 3 Tiefbausohle, 232 m unter Tage	1,6	2
Bohrloch im Flöz Tauentzien, ebendort	} entnommen am 1. IX.	— 0,29
Dieselbe Probe, filtriert.		
Probe aus demselben Bohrloch, ebendort 3. IX.	— 0,23	5
Maschinenfabrik Strom.	2,5	6
Bohrloch bei Schierhorns Garten	} über Tage.	1,0

Über die Bedeutung der negativen Werte werde ich mich weiter unten äußern, hier sei nur bemerkt, daß sie jedenfalls sehr niedrigen Emanationswerten entsprechen. Über die Entnahmestellen sei das folgende bemerkt:

Probe 1 und 2 entstammen einer vermauerten Strecke, 232 m unter Tage, die sehr reichlich Schlagwetter liefert. Die Gase werden zu Tage geleitet, um zu Versuchszwecken in der Schlagwetterversuchsstrecke Verwendung zu finden. Der Unterschied zwischen beiden Proben ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß bei Probe 1 längere Zeit seit der Trennung vom emanierenden Gesteine verstrichen war, als sie zur Untersuchung gelangte, wie bei Probe 2. Auch kann bei ersterer wohl ein Teil der vorhanden gewesenen Emanation durch Diffusion resp.

Lösung in dem Wasser des Gasometers verloren gegangen sein.

Den stärksten Emanationsgehalt zeigte, wie ersichtlich, die Quelle brennbaren Naturgases in der Stromschen Maschinenfabrik zu Neunkirchen. Das Gas (CH_4 mit geringer Beimengung von CO_2) tritt dort aus einer Spalte zu Tage, die sich vermutlich an der Grenze des für den Ort Neunkirchen stehengebliebenen Sicherheitspfeilers gegen das abgebaute Feld gebildet hat. Diese Spalte hat man erweitert und in dieselbe ein 50 mm weites Gasrohr eingemauert, durch welches ein Sauggasmotor das zu seinem Betriebe nötige Gas ansaugt. Wenn der Motor stehen bleibt und man einen in dem Rohr angebrachten Propf entfernt, so strömt das Gas mit mäßigem Überdrucke aus. Angezündet brannte dasselbe mit etwa 1 m langer, nicht leuchtender Flamme. Das Gas wurde mit natürlichem Druck in die äußere Elektrode geleitet. Probe 7 entstammt einem Bohrloche, das im Garten des Herrn Obersteiger Schierhorn in der Gegend von Bodenrissen, die ebenfalls auf den Randbruch des Sicherheitspfeilers zurückzuführen sind, bis auf 40 cm niedergebracht wurde. Der Boden war ein zäher, durch Verwitterung von karbonischen Tonschiefern entstandener Letten. Auch diesem Bohrloch entströmte ein brennbares Gas. Der Überdruck war aber so gering, daß das Gebläse (saugend) angesetzt werden mußte. Das hat vermutlich einen Gehalt an Freiluft und daher den geringeren Emanationsgehalt veranlaßt.

Ziehen wir in Betracht, daß die Gasexhalationen längs des ganzen Sicherheitspfeilerbruches in ziemlicher Stärke stattfinden, so ergibt sich, das die hier entbundene Emanationsmenge eine sehr beträchtliche sein muß.

In den aus den Flözen austretenden Gasen war nun, wie sich aus den Proben 3—5 ergibt, entweder gar keine, oder jedenfalls verschwindend wenig Emanation enthalten. Daraus folgt, daß sich dieselbe erst aus den Schichten nicht organischen Ursprungs, die im Verbande mit den Flözen vorkommen, entwickelt und den Schlagwetteru auf ihrem Wege an die Erdoberfläche beigemengt hat.

Probe 2 und Probe 6 wurden im zusammengesetzten Apparat während etwa 20 auf ihre Entnahme folgender Stunden beobachtet. Ihr Verhalten entsprach dem bei Radiumemanation zu erwartenden innerhalb der Genauigkeitsgrenzen des Versuchs.

Ein unerwartetes Ergebnis lieferten die Versuche an den Grubenluftproben, die in den Bauen selbst durch Trocken- und Filterröhren in die äußere Elektrode gesaugt wurden. Mit zwei Ausnahmen nämlich war der Spannungsabfall niedriger als über Tage, wie dies aus der folgenden Zusammenstellung sich ergibt,

in der, wie in der vorhergehenden Tabelle, die betreffenden Werte ein negatives Vorzeichen erhalten haben.

Grubenwetter-Proben von Grube König.

Entnahmestelle der Probe	E.	Datum	Nro.
3. Tiefbausohle, Hauptquerschlag liegendes v. Flöz August	— 0,02	31. VIII.	8
” ” ”	— 0,23	1. IX.	9
Vor Ort ebendort, Grundstrecke Flöz Nätzmer	+ 0,48	31. VIII.	10
Dieselbe Probe, filtriert	+ 0,49	31. VIII.	11
Ebendort	— 0,08	1. IX.	12
Abbau im Flöz Tauentzien, ebendort	— 0,19	1. IX.	13
5 Tiefbausohle, Rothhöller Querschlag	+ 0,20	3. IX.	14
Rätterhalle über Tage	— 0,15	3. IX.	15

Eine Erklärung für diese Erscheinung haben bereits ELSTER und GEITEL gegeben, die dieselbe Beobachtung in dem Kalisalzbergwerke Hercynia bei Vienenburg machten. Es handelt sich in der Hauptsache um eine Einwirkung der in der Grubenluft verteilten Rauch- und Staubteilchen. Bei mir kommt eine andere Ursache hinzu. Infolge der mehrfach angestellten Dauer- versuche war der Apparat ziemlich stark mit Induktion infiziert. Nach der über Tage angestellten Freiluftprobe klang dieselbe während des Einfahrens in die Grube ab. Bei normalem Zustande des Apparats wären so hohe negative Werte unmöglich gewesen. Immerhin bleibt merkwürdig, daß sich die vermutete Staubwirkung in keinem Falle durch Filtrieren vollständig unterdrücken ließ. Bei Probe 13 z. B. nicht, selbst als der Kesselinhalt durch viele Stunden hindurch durch die Filter gepreßt wurde, sodaß er dieselben schließlich einige hundert Male passiert hatte. Nach dem Öffnen und Lüften zeigte sich eine deutliche Infektion des Apparates, die bewies, daß ein schwacher Emanationsgehalt vorhanden gewesen war.

Wird dagegen der Apparat künstlich, z. B. durch Tabaksrauch unempfindlich gemacht, so ist dessen Einwirkung durch die Filter leicht und sicher zu vernichten.

Um die Störungen durch induzierte Aktivität zu vermindern, wurden später mehrere (5) innere Elektroden abwechselnd verwendet.

Auf der Zeche „Palmbaum“ bei Wellesweiler hatte ich Gelegenheit, „Brandschwaden“, d. h. Abgase aus einem brennenden Grubenteile zu untersuchen. Ihr Emanationswert betrug 0,7, war

also in Anbetracht des offenbar infizierten, ziemlich erheblichen Luftquantums nicht unbeträchtlich. Die Dauerbeobachtung erwies den Radiumcharakter der Aktivität.

Über Tage wurden bei Neunkirchen außerdem die folgenden Bodenluftproben untersucht:

Entnahmestelle	Gestein	E	Nro.
Oberhalb Köppes Ziegelei	Buntsandsteinletten	0,7	16
Neben einem Steinbruch unterhalb derselben	do.	0,4	17
Zwischen K.'s Ziegelei und dem Königsschachte	Karbonkonglomerate	0,9	18

Folgerungen lassen sich aus diesen vereinzelt beobachtungen natürlich mit Sicherheit nicht ziehen. Der niedrige Gehalt von Probe 17 deutet vielleicht auf eine abschwächende Wirkung des gewissermaßen als Bodenventilator wirkenden nahegelegenen Steinbruches hin. Ähnliche Einwirkungen nahegelegener Vertiefungen wurden mehrfach beobachtet.

Beobachtungen im Erzgebirge.

In das Erzgebirge führte mich ein Auftrag zu einem Gutachten über einige dortige Uranpecherzvorkommen. Diese Aufgabe brachte es mit sich, daß mir das Arbeitsgebiet örtlich ziemlich genau vorgeschrieben war. Es war das einmal die nähere Umgebung von Jungenhengst im obersten Böhmisches Teil des Schwarzwassertales und sodann die Nachbarschaft von Breitenbrunn in Sachsen. Aus demselben Grunde unterlag auch die Auswahl der Beobachtungsobjekte erheblichen Einschränkungen.

Wenn gleichwohl einige Ergebnisse allgemeinerer Art gewonnen werden konnten, so ist das ein Beweis dafür, wie aussichtsreich speziellere Arbeiten an den in Rede stehenden Problemen sind.

Diese Ergebnisse wären aber nicht zu erreichen gewesen ohne die mir von allen Seiten, vor allem von den Herren Grubenbeamten zu Teil gewordenen Unterstützungen durch Rat und Tat.

Die geologische Situation ist an allen den genannten Punkten einander ähnlich (siehe Taf. I). Granite vom Eibenstöcker Typus werden umgeben von einer Hülle kristallinischer Schiefergesteine: Gneise, Glimmerschiefer, Phyllite. In der Nähe der Granitstöcke sind diese Schiefergesteine durch Kontaktmetamorphose mehr oder minder umgestaltet. Sie werden durchschwärmt von Erzgängen, darunter den Uranpecherzgängen, die das Material für die grundlegenden Arbeiten der Curies geliefert haben. Mehr vereinzelt

treten gangartige Apophysen der Granitmassen in der Schieferhülle auf. Die Erze treten außer in Gängen vielfach auch in Lagern auf. Der Margareter Urangang bei Breitenbrunn steht in engen Beziehungen zu derartigen lagerartigen Vorkommen anderer Erze.

In der Tertiärzeit wurden diese Schichten von Basalt-eruptionen durchbrochen. Reste der so gebildeten lagerförmigen Basaltdecken sind vielfach erhalten. Sie pflegen in sargdeckelähnlichen Formen ihre Umgebung erheblich zu überragen und bilden dann außerordentlich charakteristische Elemente im Anlitz des Gebirges. Unter den schützenden Basaltdecken haben sich an zahlreichen Stellen Reste oligozäner Sand- und Tonablagerungen erhalten. Von diesen wird eine, welche in der Nähe von Seifen sich findet, von Interesse für uns sein.

Wir wenden uns zunächst den im Granitgebiete gemachten Beobachtungen zu. Es wurden die folgenden aus Granitverwitterungsboden entnommenen Bodenluftproben untersucht.

Entnahmestelle	E.	Nro.
Bei Geyer's Gasthof in Jungenhengst	3,9	1
Bei Steiger Günthers Haus ebendort	6,1	2
Am linken Talhang unterhalb Jungenhengst	3,3	3
Granitgang bei Ziegenschacht	0,66	4
Beim Geyerschen Vitriolwerk, Bohrloch a	3,0	5a
Ebendort " b	1,7	5b
Beim Pfarrgut Schwarzenberg	3,20	7

Die beiden sehr niedrigen Werte No. 4 und No. 5b sind bei Bohrungen gewonnen, die, wie sich durch Besichtigung auf Nachfrage herausstellte, wahrscheinlich nicht bis in das anstehende Verwitterungsgestein niedergebracht wurden. Bei Ziegenschacht war zwecks Anlage eines Gemüsegartens Humuserde aufgebracht worden, bei Geyer aber stand das Bohrloch in Abbränden einer alten Schwefelsäurefabrik. In beiden Fällen war die aufgebrachte Schicht nur wenig mächtig und annähernd durch das Bohrloch durchteuft worden. Ich habe die Zahlen, die an beiden Stellen gewonnen wurden, angeführt, weil sie meiner Ansicht nach zeigen, daß die bei Bodenluftproben in Erscheinung tretende Aktivität zum allergrößten Teile auf autochtone Emanation zurückzuführen ist, welche den dem Bohrloche ganz unmittelbar benachbarten Gesteinspartien entstammt. Das stark aktive Bohrloch No. 5a war von dem oben Bohrloch 5b erwähnten nur etwa 20 Schritt entfernt. Wir werden die so gemachte Erfahrung übrigens auch an natürlichen Gesteinen und unter natürlichen Lagerungsverhältnissen bestätigt

finden: auch hier entspricht in den meisten Fällen einem Gesteinswechsel eine sprungweise Änderung der Aktivität der Bodenluft.

Sehen wir von den beiden bisher besprochenen Fällen ab, so erhalten wir für die Bodenluft aus Granit einen mittleren Emanationswert von 4 Macheschen Einheiten.

Die beiden stärksten Proben (Nr. 1 u. 2) entstammen dem Grus, der sich in den Spalten des Blockmeeres findet, welches das rechte Gehänge des Schwarzwassertaales bedeckt. Probe 3 wurde einem Gehängelehm am linken Schwarzwasserufer etwas unterhalb der beiden oben erwähnten Proben entnommen. Probe 5a und 7 entstammen dem grobkörnigen Materiale, das aus dem Granite durch kumulative Verwitterung entsteht, wie es in der Gegend vielfach als Mauersand Verwendung findet.

Ein enger Zusammenhang der Aktivität der Gesteine mit ihrem Verwitterungszustand ist bereits von ELSTER und GEITEL wahrscheinlich gemacht worden. Ob die in den zuletzt erwähnten Werten zu beobachtende Abstufung der Aktivitätswerte aber zu Schlüssen über Details des Zusammenhangs auch zwischen Verwitterungsform und Verwitterungsgrad auf der einen und Aktivität auf der anderen Seite berechtigt, kann wegen der geringen Zahl der Beobachtungen wohl nicht entschieden werden. Immerhin ist ein solcher Zusammenhang nach derselben wohl nicht ganz unwahrscheinlich.

Von der Stelle des Versuches Nr. 7 stammt der Granitgrus, von dessen Untersuchung weiter unten die Rede sein wird. In einer etwa 200 m entfernten Sandgrube wurden auf Kluftflächen an etwas härterem und weniger zersetztem Materiale als Beweis für den Urangehalt des Granits Überzüge von Uranit (Urankalkglimmer) gefunden. In noch schönerem Vorkommen wurde mir derselbe von dem Besitzer des Steinbruchs am Rackelmann, Herrn Blechschmidt übergeben. Diesem Steinbruch entstammt der auf Aktivität geprüfte, unzersetzte Granit. Derselbe ist etwa 1 km von vorerwähnten beiden Stellen entfernt.

Zu den Beobachtungen im Granitgebiete sind auch noch zu rechnen die Grubenwetter in dem Annastollen bei Brettmühl ($E = 11,6$) und das Wasser des Brunnens bei dem Zechenhaus der Anna- und Michaelizeche daselbst ($E = 35,0$). Abgesehen von einer Beobachtung in unmittelbarer Nähe von anstehendem Uranpecherz ist der Emanationswert der Grubenluft des Annastollens der bei weitem höchste, der gefunden wurde. Die Emanation stammt, wie sich aus den folgenden Ausführungen ergibt, aus Granit.

Der Annastollen ist in der Schieferhülle angesetzt, durchörtert diese und tritt durch die ziemlich seiger stehende Kontakt-

fläche in den Granit ein. Dieser ist hier vollständig kaolinisiert, ähnlich wie in der Sandgrube bei Schwarzenberg. Die Wasser-rösche des Stollens ist infolgedessen erfüllt mit einem dicken Brei von ausgeschlämmtm Kaolin, von dem eine Probe später zur Untersuchung gelangte. Die Beobachtungen wurden an der Kontaktstelle Granit-Schiefer ausgeführt. Ein schwacher Wetterzug, dessen Geschwindigkeit etwa auf 0,5 m in der Sekunde geschätzt wurde, strich aus den höher gelegenen Grubenteilen über die Beobachtungsstelle zum Stollenmundloch hinaus. Daraus ergibt sich, daß in der Stunde einige Tausend Kubikmeter Luft bis zu dem beobachteten Grade mit Emanation beladen werden, und so bildet diese Beobachtung wohl das eindringlichste Beispiel für die kolossale emanierende Kraft des erzgebirgischen Granites. Im Einklange damit steht der hohe Emanationsgehalt des nahe gelegenen Brunnens der Anna- und Michaelizeche. Machen wir einmal die allerdings nicht unbedenkliche Annahme, daß meine Zahlen mit denen, welche andere Forscher mit anderen Apparaten gewannen, vergleichbar seien, so findet sich, daß nur die Gasteiner Quellen und das Joachimsthaler Grubenwasser aktiver sind, als der Brettmühler Brunnen. Zieht man beim Annastollen die großen aktivierten Gasmengen in Betracht, so dürfte sich ergeben, daß derselbe unter den bisher beobachteten Emanationsquellen überhaupt nicht seinesgleichen hat. Da der Brunnen nur etwa 11,5 l Wasser in der Minute gibt, so beträgt die von ihm gelieferte Emanation nur einen Bruchteil der vom Stollen produzierten.

Der hohe Emanationsgehalt der Bodenluft im Granitgebiete muß sich auch bei jeder Beobachtung vorausgehenden Freiluftuntersuchungen bemerkbar machen. In der Tat betrug der Mittelwert der im Erzgebirge bei Freiluft gefundenen Spannungsabnahmen etwa 0,6 Volt in der Minute gegen etwa 0,25 Volt an anderen Orten.

Das zeitliche Verhalten der Granitemanation trug den Radiumcharakter. Nur in einem Falle (bei Probe 3 der Tabelle) zeigte sich das für Thoriumemanation kennzeichnende starke Abfallen der Aktivität innerhalb der ersten Beobachtungsminuten neben den Radiumsymptomen. Ich muß aber hierzu, wie zu den analogen später zu erwähnenden Beobachtungen eines bemerken. Die in Betracht kommenden Erscheinungen sind im allgemeinen wenig auffällig und können daher leicht übersehen werden. Da ich mir über ihre Bedeutung erst nach Abschluß der Feldarbeiten klar wurde, wird dies wahrscheinlich leider häufig der Fall gewesen sein. Werden die ersten Ablesungen nach Abschluß des Pumpens nicht sehr beschleunigt, so ist das Abfallen der Aktivität, auch wenn Thoriumemanation zugegen ist,

nicht mehr zu bemerken. Die stark ansteigende Wirkung der sich bildenden Radiuminduktionen überwiegt dann in allen Fällen.

Ein wesentlich anderes Bild wie die Granitaktivitäten zeigen diejenigen der Schiefergesteine. Sie zerfallen in zwei deutlich unterschiedene Gruppen. Die erste zeigt Emanationswerte, die erheblich unter denjenigen des Granites liegen, wie aus der folgenden Tabelle zu entnehmen ist.

Entnahmestelle	E.	Nro.
Beim Gottholdstollen	2,4	8
In Zwittermühl	0,2	9
Wald bei der Seitener Mühle	0,5	10
Bei der „Glück mit Freuden“-Zeche ¹⁾ Bohrloch a.	0,4	11 a
„ „ „ „ „ „ „ b.	0,7	11 b
„ „ „ „ „ „ „ c.	2,7	11 c
„ „ „ „ „ „ „ d.	0,6	11 d
Ziegenschacht Bohrloch a. ¹⁾	0,4	12 a
„ „ b. „	4,8	12 b
„ „ c. „	0,8	12 c
„ „ d. „	0,4	12 d
„ „ e. „	1,0	12 e
„ „ f. „	3,9	12 f
„ „ g. „	0,9	12 g
Bei der Zeche St. Cristoph bei Breitenbrunn	0,5	13
Am Wege von Breitenbach nach Breitenbrunn	0,5	14
Bei der Zeche „Gottes Geschick.“	+ 0,6	15
Ebendort über alten Bauen (Ventilatorwirkung)	— 0,3	15 a
Beim Trümmerschacht bei Geyer.	+ 1,0	16
Beim Aßmuß-Gang bei Geyer.	1,3	17
Gneis bei Schwarzenbeng	1,0	18

Aus diesen 17 Werten folgt für E ein mittlerer Wert von 0,74, derselbe beträgt also etwa $\frac{1}{5}$ des mittleren Granitwertes. Im Gegensatz dazu stehen die bei den Bohrlöchern 8, 11c, 12b und 12f gewonnenen Zahlen.

Die Erklärung für diese Erscheinungen liegt bei zwei der angeführten Zahlen ziemlich nahe:

Das Bohrloch am Gottholdstollen befindet sich in unmittelbarer Nähe des Kontaktes zwischen Granit und Schiefer. Das Bohrlochtiefe mag vielleicht 2 m über der hier annähernd wagenrechten Kontaktfläche gelegen haben. Es wird also vermutlich entgegen der sonst gefundenen Regel eine Kommunikation auch mit etwas entfernteren Gesteinspartien stattgefunden haben und daher Granitemanation mit zur Beobachtung gelangt sein.

¹⁾ Siehe Kartenskizze. Taf. I und Fig. 8.

Bobrloch Glück mit Freuden C aber hatte das Ausgehende des Glück mit Freuder Uranpfecherzanges nahe bei einer uranföhrnden Stelle getroffen.

Für die hohen Ziegenschachter Werte möchte ich auf eine Erklärung verzichten. Es ist dort vor Zeiten ein ziemlich lebhafter Bergbau auf Arsenkies umgegangen, wie mir das Kaiserliche Bergamt in Joachimstal mitteilte. Zahlreiche Pingen und eingebrochene Stollen geben noch von demselben Kunde. Die Aktivität von an anderen Stellen entnommenen Arsenkiesproben war aber nur eine ganz geringe, sodaß in Übereinstimmung mit der chemischen Zusammensetzung eine erhebliche Einwirkung dieser Erzvorkommen recht unwahrscheinlich ist. Daß Witterungseinflüsse nach Analogie des bei Göttingen beobachteten Falles vorlagen, ist deshalb unwahrscheinlich, weil die anderen in der Nähe gelegenen Bohrlöcher, zwischen denen die abweichenden ausgeführt wurden, ein völlig normales Verhalten zeigen. Petrographisch ist die Gegend von Ziegenschacht insofern vor den anderen Schiefergebieten, in denen ich arbeitete, ausgezeichnet, als ich hier das einzige Mal in ein Gesteinsgebiet kam, das nicht Merkmale der Metamorphose durch den Kontakt mit dem Granit an sich trug. Es liegt die Vermutung nahe, daß hier irgend ein noch unerkannter Zusammenhang besteht. Die spärlichen Einzelbeobachtungen gestatten es aber natürlich nicht, über eine solche Vermutung hinauszugehen.

Die angestellten Dauerbeobachtungen ergaben im allgemeinen den Radiumcharakter der Schieferemanation. Bei den unter den No. 12a, 12f, 12g angeführten Bohrlöchern zeigten sich aber deutliche Thoriumsymptome.

Eine weitere Verbreitung der letzteren ist, wie bereits auseinander gesetzt wurde, durchaus wahrscheinlich.

Im Schiefergebirge wurde des ferneren die Aktivität einer ganzen Reihe von Gewässern untersucht.

Ich gebe zunächst die folgenden Zahlen, bei denen es sich um Stollenwässer handelt, deren Ursprungsort nicht zugänglich war:

Quelle	E.	Nro.
Brunnen bei Harzers Hause 10. IX.	2,1	19 a
" " " " 12. IX.	2,2	19 b
Procopistollen	14,5	20
Dreifaltigkeitsstollen	6,9	21
Segen-Gottesstollen	4,6	22
Rudolfistollen frisch	5,0	23 a
" 4 Tage alt	2,3	23 b
Gottholdstollen	1,0	24

Im einzelnen bemerke ich zu diesen Zahlen das folgende: Das Wasser des „Brunnens bei Harzers Hause“ sammelt sich auf einer sumpfigen Wiese zwischen dem Mundloche des Procopistollens und des Glück-mit-Freuderstollens. Es fließt, ehe es in das Brunnenrohr eintritt, etwa bis zu 200 m offen dahin. Seine Aktivität war also, als es zur Beobachtung gelangte, vermutlich durch Diffusion bereits zum größten Teile abgeklungen. Die Wässer des Allerseelen, Procopi-, Dreifaltigkeits- und Gott-holdstollens entstammen Gangsystemen, die denen des unten beschriebenen „Glück-mit-Freuder“-Vorkommens vermutlich mehr oder minder ähneln. Auf allen soll neben Wismut- und Silbererzen auch Uranpecherz vorgekommen sein, (Auskunft des Herrn Steiger GÜNTHER in Jungenhengst), sodaß wir die Aktivität ihrer Wässer aus der Berührung mit diesem würden ableiten können. Der Segen-Gottesstollen ist zur Aufschließung eines Hämatit-ganges getrieben, welcher auf eine lange Erstreckung hin die hier wohl durch sekundäre, tektonische Einflüsse gebildete Grenze zwischen Granit und Schiefer begleitet. Der Rudolfstollen unterteuft den oben genannten Annastollen, die Verhältnisse sind ähnliche, wie bei jenem, doch liegt die Grenze Granit-Schiefer weiter von der Stollmündung entfernt, und es überwiegt wahrscheinlich der Einfluß des Schiefers. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in der Wassersaige ist nur eine ganz geringe, es ist also anzunehmen, daß am Stollenmundloch, der Entnahmestelle des Wassers, bereits ein großer Teil der Emanation aus dem Wasser hinausdiffundiert war. Daß die Abklingungsgeschwindigkeit der Emanation in verschlossener Flasche etwas schneller war, als bei derjenigen des Radiums findet wohl durch die Annahme, daß die Flasche nicht ausreichend verschlossen war, seine Erklärung.

In ähnlicher Weise wie auf die Freiluft wirkt die starke Gesteinsaktivität des Erzgebirges übrigens auch auf freies Wasser. Eine Wasserprobe, die in der Gegend von Seifen dem Schwarzwasserbache entnommen wurde, aktivierte den Luftinhalt des Kessels in schwacher, aber deutlicher Weise. ($E = 0,01$ ca).

Bei allen Wasseraktivitäten ist übrigens eines hervorzuheben: Meine Beobachtungen fallen in das Ende des abnorm trockenen Sommers des Jahres 1904. Es ist also nicht unmöglich, daß man in normalen Zeiten sehr viel niedrigere Aktivitätswerte erhält.

Wohl dürfte sich ein genaueres systematisches Studium der obererzgebirgischen Quellen auf Aktivität empfehlen, das bei der nicht unerheblichen therapeutischen Bedeutung, die diesem Gegenstande inne zu wohnen scheint, vielleicht auch für die Praxis wichtige Ergebnisse zeitigen würde.

Von Erzlagerstätten wurden die „Glück mit Freuden“-Zeche

bei Seifen und die Zechen „St. Christoph“ und „Margarethe“ bei Breitenbrunn einer Prüfung bezüglich ihrer Aktivitätsverhältnisse unterzogen.

Besonderes Interesse dürften die Ergebnisse von „Glück mit Freuden“ deswegen beanspruchen, weil hier Uranpecherz ansteht und weil außerdem die Verhältnisse den Beobachtungen besonders günstig waren. Es lassen sich die letzteren in drei Gruppen gliedern: 1. Prüfungen der Grubenwetter, 2. der Grubenwasser, 3. der Gangmittel und des Nebengesteins in bezug auf ihre Aktivität.

Wie aus der Skizze (Fig. 8) ersichtlich, handelt es sich

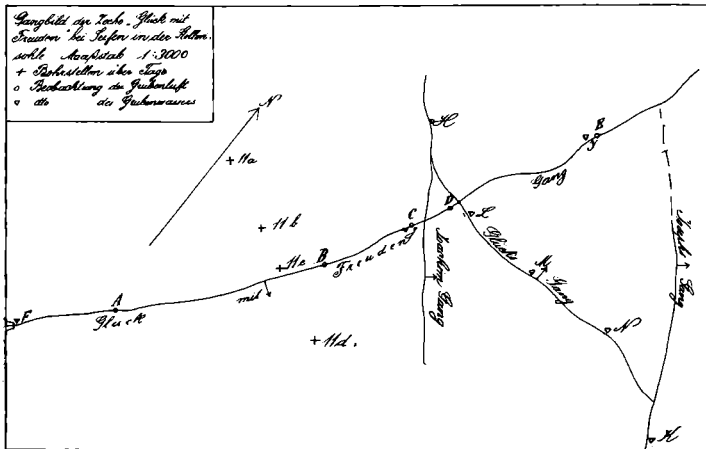


Fig. 8.

auf der „Glück mit Freuden“-Zeche um einen nordsüdlich streichenden Gang, der von zwei O—W und einem SO—NW streichenden Gänge gekreuzt wird. Auf dem südlich gelegenen Gangkreuz und im Süden davon, d. h. im Liegenden des O—W streichenden Gangzuges, treten zu den sonst in der quarzigen Gangmasse auftretenden Wismuterzen uranföhrnde Partien hinzu — neben Uranpecherz seine häufigsten Begleiter in der Region des eisernen Hutes, Urangummierz und Uranocker. Das Vorkommen dürfte das von STĚP und BECKE kürzlich über die Joachimsthaler Uranpecherzgänge gesagte ziemlich genau wiederholen. Die dritte Komponente der dort erwähnten Mineralgesellschaft: Quarz, Braunspat, Pecherz, der Braunspat, ist hier zersetzenden Einflüssen zum Opfer gefallen, an seiner Stelle finden wir fette schmierige Tone von gelblicher oder rötlich-brauner Färbung, die im Elektrometerkessel häufig noch einen erheblichen Uran- resp. Radiumgehalt erkennen lassen.

Ich gebe zunächst die Beobachtungen an Grubenluft wieder:

Beobachtungspunkt:	E
A	0,9
B	1,9
C	10,0
D	11,7
E	7,6

Diese Zahlen scheinen mir hauptsächlich aus zwei Gründen beachtenswert: Die Beobachtungen wurden an einem Montage angestellt. Da der vorangegangene Sonnabend ein Feiertag gewesen war, war die Grubenluft, als der Stollen für meinen Eintritt geöffnet wurde, während 60 Stunden in Ruhe gewesen, die Türe des Stollens wurde hinter mir und meinem Begleiter sofort wieder geschlossen. Der Hauch des Atems und der Lampenqualm zeigten, daß die Luft in der Grube völlig stagnierte. Wenn gleichwohl die Schwankungen der Aktivität der Luft von einer ganz anderen, weit kleineren Größenordnung sind als die Schwankungen der Aktivität der benachbarten Gesteine, so beweist das, daß der Emanationsgehalt der Luft in den einzelnen Grubenteilen sich trotz aller Vorsicht in hohem Maße ausgeglichen hatte und daß wohl der Durchschnittswert desselben für die Gesamtgrube, nicht aber Einzelbeobachtungen für die einzelnen Beobachtungspunkte charakteristisch sind.

Zweitens war die Aktivität nur an einem Punkte höher, als die im Annastollen. Wenn man in Betracht zieht, daß dort die Luft strömte, hier ruhte, so ergibt sich, daß der schwach emanierende Granit infolge der großen Extensität seiner Wirkung um ein vielfaches stärker auf die umgebende Luft wirkte, als das Uranpecherz, von dem eine Gewichtseinheit eine viel tausendmal größere Emanationsmenge entwickelt, als eine Gewichtseinheit Granit. Es ist das meines Erachtens ein Beweis dafür, daß der Emanationsgehalt der Heilquellen und anderer Produkte großer Tiefen keinerlei Annahme über einen besonders hohen Radiumgehalt des Erdinneren nötig macht. Die Voraussetzung, daß lebhaftere Wechselbeziehungen zu großen, schwach aktiven Gesteinmassen bestehen, erklärt in den weitaus meisten Fällen derartige hohe Aktivitäten in durchaus befriedigender Weise.

Au den folgenden Stellen der „Glück mit Freuden“-Zeche wurden Wasserproben zur Untersuchung entnommen:

Signatur auf der Karte:	E
F (Stollenmundloch)	5,20
G (Urangesenk)	9,2
H	2,6
I	1,9
K	1,6

Signatur auf der Karte:	E
L	1,1
M	1,1
N	1,0
Zum Vergleich: Jenenser Leitungswasser	0,08

Das Wasser am Stollenmundloch stellt ein Gemisch der sämtlichen anderen Proben dar. Die gesamten gefundenen Emanationsgehalte müssen, wenn man den Emanationsgehalt der Grubenluft und die Tatsache des Anstehens von Uranpecherz in Betracht zieht, als ganz überraschend niedrig bezeichnet werden. Sinken dieselben doch teilweise fast auf den 10fachen Wert des Jenenser Leitungswassers herab. Nur der Emanationsgehalt des Wassers in dem sogenannten „Urangesenk“ erreicht einen ansehnlichen Wert, der um so mehr ins Gewicht fällt, als demselben offenbar eine recht erhebliche Wassermenge entströmt, wie aus der Steigerung des Emanationsgehaltes des Wassers am Stollenmundloch gegenüber den hinter dem Urangesenk entnommenen Proben hervorgeht. Da die Infektion hier auf einen kleinen Raum konzentriert und demnach sehr intensiv sein muß, erscheint mir das unter den Bergleuten verbreitete Gerücht wohl glaublich, welches von erheblichen Pecherzanbrüchen in der Tiefe des ersoffenen Urangesenkes zu erzählen weiß.

Von der detaillierten Besprechung der in großer Anzahl unternommenen Prüfungen von Gang- und Nebengestein will ich absehen und darüber hier kurz nur das folgende anführen:

Das Nebengestein war ausnahmslos von so schwacher Aktivität, daß sich dieselbe bei der angewendeten Methode (Einführung von 80 gr Substanz in die äußere Elektrode, 10 Minuten Beobachtung) nicht, oder nicht mit Sicherheit nachweisen ließ. Die Aktivität des Gangmaterials war, wie sich dies auch erwarten ließ, sehr verschieden. Die graphische Darstellung der gefundenen Aktivitäten (Taf. II) versinnbildlicht dies wohl in der deutlichsten Weise. Die Schwankungen sind so groß, daß für die verschiedenen Teile der Kurve verschiedene Maßstäbe gewählt werden mußten. Die die einzelnen Beobachtungspunkte verbindenden Linienteile haben natürlich nur den Zweck, diese deutlicher hervortreten zu lassen und entbehren im übrigen der Bedeutung. Die kolossalen Schwankungen der Aktivität stehen im auffallendsten Gegensatz zu dem ruhigen Gang, den die Intensität der Aktivitätsphänomene sonst an allen beobachteten Punkten zeigte. Schwankungen um das drei- und vierfache sind im allgemeinen schon ungewöhnlich, während hier innerhalb weniger Meter die Aktivität um das 10000fache aufsteigt und wieder absinkt.

Wie einige Versuche ergaben, waren Beobachtungen an den

Grubenwetterern der Zechen „St. Cristoph“ und „Margarethe“ bei Breitenbrunn wenig aussichtsreich, da die Ergebnisse infolge der intensiven Arbeit durch Rauch und Staub stark entstellt wurden. Die an den Gangmaterialien und Nebengesteinen von „Margarethe“ ausgeführten Untersuchungen gaben im wesentlichen eine Wiederholung des in „Glück mit Freuden“ beobachteten, sodaß eine detaillierte Wiedergabe sich erübrigt.

Erwähnung mögen nur folgende Einzelheiten finden: Während bei Joachimsthal und Seifen, wie erwähnt, das reiche Auftreten von Pecherz an die Nachbarschaft von Gangkreuzen gebunden ist, tritt dasselbe auf „Margarethe“ auf einem Gange auf, den ein Amphibolitlager durchsetzt. Dieses letztere ist in der Nähe des Kreuzes mehr oder minder reich mit Erzen: Blende, Arsen- und Kupferkiesen imprägniert. Das Uranpecherz scheint in der Hauptsache auf das Liegende des Lagers beschränkt zu sein, doch habe ich teilweise auch im Hangenden desselben sehr erhebliche Aktivitäten gefunden.

Interessant ist die hohe Aktivität des Wassers, das in einer Menge von etwa 1 l pro Minute aus einer das St. Cristopher, dem Margarether ähnliche, nur weit reichere und mächtigere, Lager verwerfenden Spalte hervorquillt ($E = 11,4$). Pecherze sind hier nicht bekannt, das Wasser scheint aus schwach emanierenden Schiefen zu stammen. Die nach diesem Versuche im Apparate sich zeigende radioaktive Infektion war von einer ganz ungewöhnlichen Dauer. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß die ausdauernde Thoriuminduktion dieselbe wenigstens z. T. verursachte. Bei der Beobachtung selbst wurden Thoriumsymptome nicht wahrgenommen.

Dagegen zeigten sich diese deutlich bei der letzten zu erwähnenden Bodenluftprobe aus meinem erzgebirgischen Arbeitsgebiete bei derjenigen, die den oligozänen Sanden von Seifen entnommen wurde. Es sank hier ΔV innerhalb der ersten 10 Beobachtungsminuten von 24 auf 14. Der letztere Wert entspricht einem Werte $E = 2$, er änderte sich nur noch langsam. Da in fast reinem Quarzsande gebohrt war, ist er als sehr hoch zu bezeichnen. Näheres zu diesem Befunde ist leider nicht zu sagen, da an dem betreffenden Tage wegen des ungünstigen Wetters ein Weiterarbeiten unmöglich war und ich auch später an dieser Stelle nicht mehr beobachten konnte. Die Lagerungsverhältnisse an derselben sind aus der Skizze 8 ersichtlich.

Beobachtungen in der Neumark.

Im Gebiete des Norddeutschen Diluviums konnte ich in Berneuchen (Kreis Landsberg a. W.) die folgenden Beobachtungen an Bodenluft und Wasser machen:

Gestein	E.	No.
Oberer Sand	0,95	1
Geschiebefreier Lehm	1,00	2
Unterer Sand	0,2	3
Grundwasser aus unterem Sand (Lutherbrunn)	0,05	4

Es tritt hinzu eine Bodenluftbeobachtung in Oligozänsanden bei Blumberg am Rande des Warthetales ($E = 0,66$).

Die bei Probe 1) beobachtete Emanation wird danach sehr wahrscheinlich aus dem unterliegenden Lehm stammen.

Bei allen Versuchen zeigt sich das für Radium charakteristische Ansteigen der Stromstärke in den ersten Beobachtungsminuten.

Beobachtungen in Jena.

Da mir bei meinen im Anschluß an die bisher geschilderten Feldarbeiten im Laboratorium des Jenenser Physikalischen Institutes¹⁾ ausgeführten Arbeiten im Anfange die oben in dem Abschnitte über die „Maßeinheiten“ niedergelegten Erfahrungen fehlten, und das wichtigste Ergebnis derselben schließlich in der Erkenntnis bestand, daß ich bei festen Körpern eine gänzlich undefinierbare Funktion zahlreicher, von einander unabhängigen, zum großen Teil undefinierbarer Variablen gemessen hatte, so glaube ich auf die Wiedergabe der Einzelheiten dieser Arbeiten verzichten zu müssen. Immerhin sind sie nicht nur dieses negativen Resultates wegen von Wert für mich gewesen, sondern haben auch sonst einzelne beachtenswerte Ergebnisse gezeitigt.

Ich führe die folgenden Einzelheiten an:

Je 45 kg Fango, verwitterter Granit von Schwarzenberg und verwitterter Glimmerschiefer von Breitenbrunn wurden 4 Tage lang in einem oben und unten mit Schlauchhahn versehenen, sonst dicht verschlossenen Blechgefäße aufbewahrt und sodann der Luftinhalt des Elektrometers durch dieses Gefäß hindurch in Rotation versetzt.

Es ergab sich der dadurch bewirkte Spannungsabfall:

Substanz	ΔV min.
Fango	4,5
Granit	0,3
Schiefer	0,1.

¹⁾ Für die Ermöglichung dieser Versuchsreihe bin ich Herrn Geheimrat WINKELMANN zu Jena zu ganz besonderem Danke verbunden.

Nehmen wir den Schieferwert als Einheit, so figurieren Granit mit dem Werte 3, Fango mit 40 (unter Rücksicht auf die vorgenommenen Abrundungen).

Als die drei Substanzen dagegen selbst zu je 125 gr in den Apparat eingebracht wurden, zeigte sich folgendes Ergebnis:

Substanz	Voltabfall in der Stunde
Fango	36
Granit	17
Schiefer	24.

Der Emanationswert, der im Freien bei Granit und bei Schiefer gefunden wurde, steht an den betreffenden Stellen im Verhältnis von etwa 5 : 1. — Immerhin nähert sich demselben in Anbetracht der unvollkommenen Versuchsmethode der Laboratoriumsbefund in befriedigender Weise. Als fester Ionisator wirkte aber der Granit schwächer als der Schiefer. Das Ionisationsvermögen der festen Substanzen ließ sich weder beim Granit noch beim Schiefer durch stundenlanges Aufbewahren im Vacuum oder heftiges Glühen nennenswert beeinflussen. Okkludierte Radiumemanation und durch sie erzeugte Induktionen können also keine erhebliche Rolle spielen. BLANC hat neuerdings darauf hingewiesen, daß schwach emanierende, dabei aber verhältnismäßig stark aktive Körper aller Wahrscheinlichkeit nach Träger von Thoriumaktivität sind. Wir dürfen wohl das Vorhandensein solcher beim Schiefer annehmen.

Dieselbe müßte sich als Induktion nachweisen lassen. In ruhender Luft mißglückte bei dem ohnehin nur schwachen Emanationsvermögen der Schiefer der Versuch, diesen Nachweis zu führen deshalb, weil dabei, wie zu erwarten war, der Einfluß der Radiuminduktion bei weitem überwog. Es muß sich nun aber der Einfluß der letzteren stark zurückdrängen, derjenige der Thoriuminduktion aber entsprechend steigern lassen, wenn man die Infektion des Apparates durch einen Luftstrom ausführt, der mit passender Geschwindigkeit durch das zu untersuchende Bodenquantum hindurchgeführt wird. Leider scheiterten zunächst die in dieser Absicht angestellten Versuche an der großen Undurchlässigkeit des Lehmes, der das Verwitterungsgestein der Cristopher Schiefer darstellt.

Ergebnisse.

Abgesehen von den Einzelheiten theoretischer und experimenteller Art läßt sich aus den beschriebenen zahlreichen Versuchen das Folgende als wesentlich neu und geologisch wichtig folgern:

1. Der Emanationsgehalt der Bodenluft ist in erster Linie abhängig von der petrographischen — vermutlich speziell von

der chemischen — Beschaffenheit des Gesteines, dem dieselbe entnommen wurde.

Wie bereits ELSTER und GEITEL erkannten, sind in den weitaus meisten Fällen tonhaltige Gesteine die Lieferanten der intensiven Emanationen, es sinkt die Aktivität der Bodenluft mit sinkendem Tongehalt und ist z. B. in dem fast tonfreien Diluvialsand ganz gering.

2. Wichtig ist das Fehlen radioaktiver Emanationen in den auf rein organischem Wege entstandenen Steinkohlenflözen, d. h. das Gebundensein der Radioaktivität an das Urgebirge, an effusive und an Tiefengesteine, sowie an deren klastische Umlagerungsprodukte. (Nähere Erörterung siehe in meinem Aufsatz „Die radioaktiven Mineralien, Gesteine und Quellen“) (3).

3. Wanderungen der Emanationen im Erdboden spielen im allgemeinen nur eine untergeordnete Rolle. Wo solche durch die Tektonik eines Gebietes oder künstliche Eingriffe ermöglicht werden und so die Emanationsproduktion eines großen Gesteinsvolumens auf eine kleine Stelle der Erdoberfläche projiziert wird, da können durch diese Zuwanderung „allochtoner“ Emanationen erhebliche Konzentrationen derselben auftreten. Eine Betrachtung der Einzelfälle — Neunkirchner Naturgas, Annastollen — lehrt uns, daß wir zur Erklärung derartiger konzentrierter Aktivitäten nicht nötig haben anzunehmen, daß das Erdinnere stärker emaniere, als die Gesteine der Erdoberfläche. Es sind also die Gesteine als solche und ist nicht das Erdinnere Träger der Aktivität.

4. Wichtig ist die starke Aktivität der Erzgebirgsgranite, sowie die schwächere der Schieferhülle. Das Ausmaß der Granitaktivität entspricht aber noch nicht der Tatsache, daß dieser Granit das Muttergestein der Uranpecherzgänge ist — wenn dieselben auch im Schiefer aufsetzten — und daß sich in ihm vielfach ein Urangehalt nachweisen läßt. Von einer Proportionalität zwischen Urangehalt und Radioaktivität kann jedenfalls keine Rede sein. Diese Tatsache ist aus folgendem Grunde von Interesse: Die Desaggregationstheorie nötigt uns, das Radium gleich seiner Emanation und seinen Induktionen nur als ein Übergangsstadium anzusehen und nach seinem Mutterelemente zu suchen¹⁴). In Gesteinen und Mineralien muß der Radiumgehalt dem Gehalte an diesem Mutterelemente unter gewissen Voraussetzungen proportional sein¹¹). Mein Befund widerspricht also der aus anderen Gründen naheliegenden Annahme, daß Uran dieses gesuchte Ausgangselement sei. Da auch von anderer Seite¹⁴) Bedenken gegen sie geäußert worden, ist die Frage nach dem Ursprung des Radiums als eine offene zu betrachten.

5. Die Form, in der die Radioaktivität der Bodenluft auftritt, deutet auf die allgemeine Verbreitung auch der Thoriumaktivität neben derjenigen des Radiums hin.

6. Die schon an sich außerordentlich ^{un}übersichtlichen Beziehungen, die zwischen dem numerischen Gehalte eines Gesteines an Radioelementen auf der einen und den in unseren Apparaten zu beobachtenden Wirkungen derselben auf der anderen Seite bestehen, werden durch dieses gleichzeitige Auftreten zweier Ausgangskomponenten naturgemäß noch weiter kompliziert. Da wir zudem die Energietönung der radioaktiven Umsetzung des Thoriums nicht kennen, wird auch die Beantwortung der Frage nach dem Energieäquivalent der radioaktiven Vorgänge in den Gesteinen der Erdkruste und nach der Rolle, welche dieselben im Wärmehaushalt des Erdballes spielen¹⁰⁾, in immer weitere Fernen hinausgerückt.

Literatur.

1. G. BISCHOF, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie I. 141. ff. 1847.
2. G. A. BLANC, Philosophical Magazine 1905. 148—154.
3. G. v. d. BORNE, Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik. 2. H. 1. 1905.
4. P. CURIE und O. LABORDE, Comptes rendus 138. 1150, 1904.
5. J. ELSTER u. GEITEL, Physikalische Zeitschrift 2. 560, 1901.
6. " " " " " 3. 574—577, 1902.
7. " " " " " 4. 522, 1903.
8. " " " " " 5. 11—20, 1904.
9. " " " " " 5. 321—325, 1904.
10. C. LIEBENOW, Physikalische Zeitschrift 5. 625—626, 1904.
11. H. N. MC. COY, Berichte d. Deutsch. Chem. Ges. 37. 2641—2656, 1904.
12. H. MACHE, Wiener Berichte 113. 1329—1352, 1904.
13. F. SCHALCH, Sektion Johann-Georgenstadt (2. Aufl., revidiert von C. GÄBERT 1901) — SCHWARZENBERG (1884) und GEYER (1878) der geologischen Spezialkarte des Königreichs Sachsen nebst Erläuterungen.
14. F. SODDY, Die Radioaktivität in elementarer Weise vom Standpunkte der Desaggregationstheorie dargestellt, 1904.
15. J. STARK, Die Elektrizität in Gasen (S. 36—45.) 1902.
16. J. STĚP und F. BECKE, Wiener Ber. 113. 585—613, 1904.
17. G. VICENTINI und M. LEVI DA ZARA. Atti Acad di Veneto 64. 95—110, 1904.

Erklärung der Tafel II.

Graphische Darstellung der durch die Gangmassen der „Glück mit Freudenzeche“ bewirkten Ionisation.

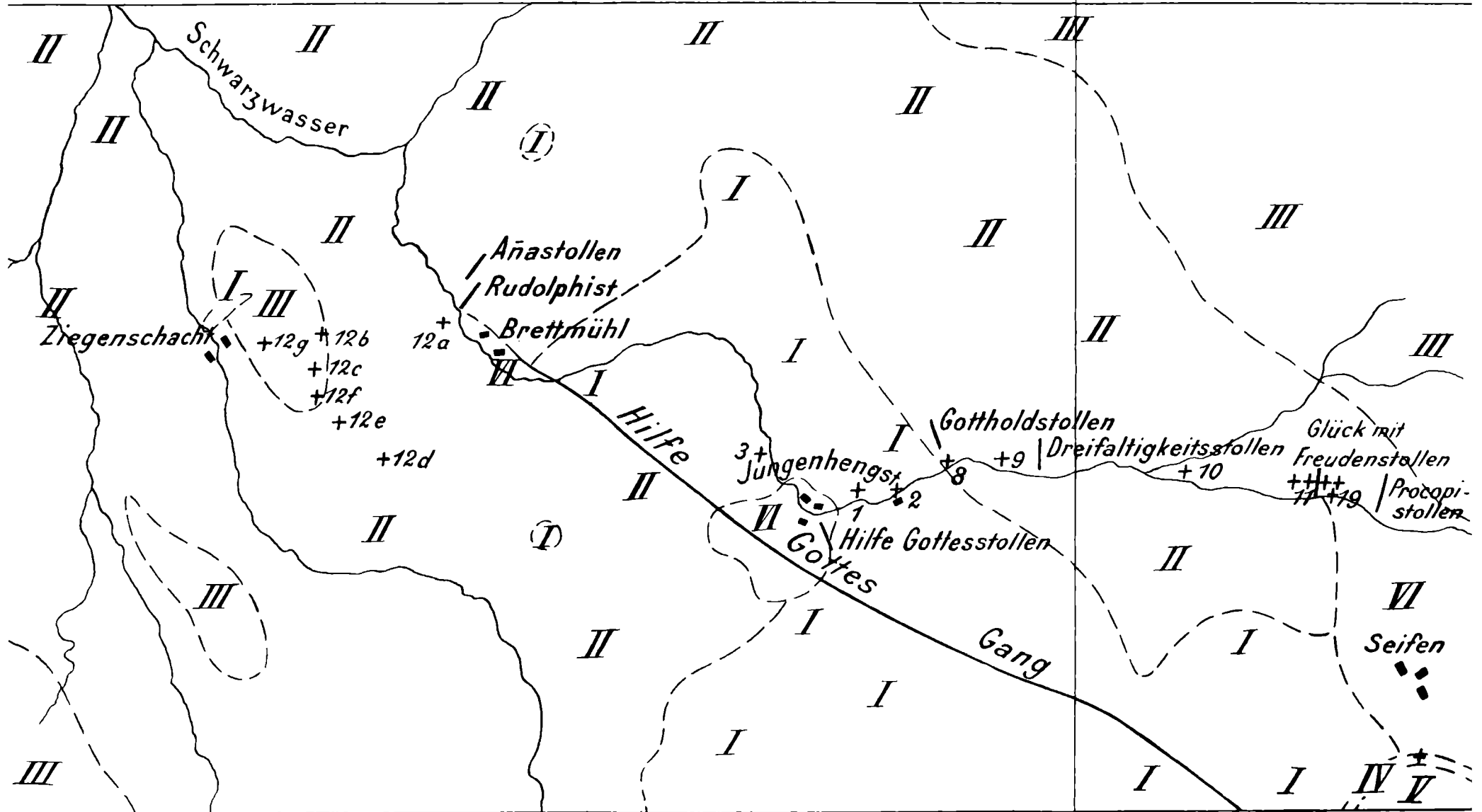
Jeder Kurvenpunkt mittelt die Beobachtungen aus je 5 m Ganglänge.

Maßstäbe:

Abcisse 1 mm = 2 m Stollenlänge

Ordinate 1 cm = 2 Volt Spannungsabfall pro Minute nach Einbringen von 80 gr Substanz (Anordnung B)

Ordinate für reines Pecherz = rund 5 m.



I Granit, II Schiefer metamorphisch verändert, III Schiefer ohne Merkmale der Metamorphose, IV Oligocäne Sande u. Thone, V Basalt, VI Diluvium u. Alluvium, + Entnahmestellen der im Text aufgeführten Proben.

