Ueber einige Eigenschaften der Röntgen'schen X-Strahlen[1]).

(Vorläufige Mittheilung.)

Von

Dr. **A. Winkelmann** und Dr. **R. Straubel**,
Professor Privatdocent
an der Universität Jena.

Hierzu Tafel XXIII u. XXIV.

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen beziehen sich auf verschiedene Eigenschaften der Röntgen'schen Strahlen und behandeln:

I. Die Brechbarkeit durch Metallprismen von Eisen, Kupfer, Zink, Silber und Blei;

II. die Reflexion;

III. die Durchlässigkeit verschiedener Gläser und deren Bestandtheile für die Strahlen;

IV. die Wirkung der Strahlen auf die empfindliche photographische Schicht der Trockenplatten;

V. die diffuse Ausbreitung der Strahlen durch verschiedene Medien;

VI. die Umwandlung der Röntgen'schen Strahlen vermittelst Flußspath; die Ermittelung der Wellenlänge der vom Flußspath ausgesandten Strahlen; die Anwendung des Flußspaths, um die Empfindlichkeit photographischer Platten für Röntgen'sche Strahlen auf mehr als das Hundertfache zu steigern.

---

1) Theilweise in der Sitzung der med.-naturw. Gesellschaft zu Jena am 21. Februar 1896 vorgetragen.

I.

1) Röntgen hat bereits die Brechbarkeit der X-Strahlen für eine Reihe von Substanzen untersucht. Versuche mit Wasser und Schwefelkohlenstoff ergaben gar keine Ablenkung; mit einem Hartgummi- und Aluminiumprisma wurden Bilder erhalten, an denen man vielleicht eine Ablenkung erkennen konnte. Doch war die Sache sehr unsicher und der Brechungsexponent der X-Strahlen in den zuletzt genannten Substanzen würde höchstens 1,05 sein. Versuche mit Prismen von dichteren Metallen lieferten Röntgen wegen der geringen Durchlässigkeit und der in Folge dessen geringen Intensität der durchgelassenen Strahlen kein sicheres Resultat.

2) Hier haben wir zunächst angeknüpft. Es wurden 5 Metalle untersucht und zwar in folgender Anordnung. Nahe an einer horizontal gehaltenen Hittorff'schen Röhre [1]) wurde eine quadratische Bleiplatte von 20 cm Seite und 1,3 mm Dicke mit einem vertikalen Spalt, der 11 mm hoch und 1,7 mm breit war, vertikal aufgestellt. In einem Abstand von 45 mm stand eine zweite Bleiplatte gleicher Dicke und gleicher Größe wie die erste. Dieselbe hatte einen 26 mm hohen und mehrere mm breiten Spalt, der aber durch zwei Bleistreifen, die genau abgeglichene, ebene Begrenzungsflächen hatten, bis auf eine Breite von 0,26 mm wieder verschlossen wurde. Ferner war der Spalt, dessen Längsrichtung vertikal war, durch zwei horizontale Bleistreifen von 4,5 mm Breite, in drei über einander liegende, genau gleich breite und annähernd gleich hohe Abtheilungen getheilt; diese Bleistreifen waren auf der Seite befestigt, welche der Hittorff'schen Röhre zugekehrt war. Auf der anderen Seite der Platte und zwar auf den vertikalen Bleistreifen wurden drei Metallprismen mit Wachs derart befestigt, daß die Ablenkung durch das obere und untere derjenigen durch das mittlere Prisma entgegengesetzt wurde. Die Prismen hatten einen brechenden Winkel von nahezu 30° und wurden so auf dem Spalt befestigt, daß die

1) Die von uns benutzten geraden Hittorf'schen Röhren waren von Herrn Dr. H. Geissler Nachf. Franz Müller in Bonn geliefert. Der Induktionsapparat hatte im Maxim. 50 cm Schlagweite; er wurde bei unseren Versuchen mit 12 Akkumulatoren getrieben; der primäre Strom hatte eine mittlere Stromstärke von 1,5 Amp. — Die Röhren waren so wirksam, dafs man einen Platincyanürschirm in dem ganzen Untersuchungsraum, selbst wenn der Schirm 11 m von der Röhre entfernt war, noch aufleuchten sah.

X-Strahlen möglichst geringe Dicken der Prismen zu durchlaufen hatten. — In einem Abstande von 45 mm von den Prismen wurde eine kleine Cassette mit einer empfindlichen Platte verschlossen aufgestellt.

Die Expositionszeit betrug beim Blei 40 Min., bei den übrigen Metallen 20 Min.

3) Die drei Spaltbilder in jeder Aufnahme sind durch Zwischenräume, welche von den quer gelegten Bleistücken herrühren, von einander getrennt (vgl. Tafel I, wo die Bilder in natürlicher Größe wiedergegeben sind; die Reproduktion ist nur mangelhaft gelungen). Sie zeigen sämmtlich das gleiche Verhalten: die drei Bilder liegen nicht genau in einer Linie, sondern das mittlere Bild ist gegenüber der Verbindungslinie des oberen und unteren Bildes seitlich verschoben. Diese Verschiebung beträgt etwa 0,2 mm; ein Unterschied für die verschiedenen Metalle läßt sich nicht mit Sicherheit erkennen. Nimmt man an, daß die genannte Verschiebung durch Brechung herbeigeführt ist, so ergibt sich, daß der Brechungsexponent der Metalle für die X-Strahlen kleiner als 1 ist. Durch eine einfache Rechnung findet man aus den angegebenen Zahlen den Brechungsexponenten

$$n = 1 - 0{,}0038.$$

4) Um zu untersuchen, ob etwa die Spalttheile selbst nicht genau in einer Linie lagen, wurde eine photographische Aufnahme der Spaltbilder ohne Prismen ausgeführt; diese Aufnahme ließ nicht die geringste Verschiebung des mittleren Bildes gegenüber den beiden anderen erkennen.

5) Berücksichtigt man, daß die Intensität der durchgelassenen Strahlen mit wachsender Dicke der Metallprismen abnimmt, so könnte man versucht sein, die geringe Verschiebung der Bilder gegen einander hieraus zu erklären. Es ist indessen unwahrscheinlich, daß diese Erklärung zulässig ist, wenigstens findet sich in dem Aussehen der Spaltbilder keine Unterstützung für diese Ansicht, da eine unsymmetrische Intensitätsvertheilung auf den Bildern nicht wahrzunehmen ist.

6) Der angegebene Werth $n = 1 - 0{,}0038$ bezieht sich auf den Brechungsexponenten von Metall gegen Luft. Da über den Brechungsexponenten der Luft gegen den leeren Raum für die Röntgen'schen Strahlen nichts bekannt ist, läßt sich eine Reduktion des angegebenen Werthes auf den leeren Raum nicht vornehmen. Immerhin machen die vorliegenden Versuche, in Verbindung mit den bereits von Röntgen angestellten es wahrscheinlich, daß alle

Körper ohne Ausnahme für die Röntgen'schen Strahlen einen Brechungsexponenten haben, der nur sehr wenig von 1 verschieden ist. Dies deutet darauf hin, daß die Röntgen'schen Strahlen weit im Ultravioletten zu suchen sind, also eine sehr kleine Wellenlänge besitzen. Denn nach der Theorie von Helmholtz[1]) convergirt der Brechungsexponent für unendliche kleine Wellenlängen gegen 1.

II.

7) Die diffuse Reflexion der X-Strahlen wurde bereits von Röntgen an den Metallen Platin, Blei und Zink nachgewiesen; dagegen konnte er beim Aluminium keine Reflexion wahrnehmen. Unsere Versuche wurden in ähnlicher Weise wie bei Röntgen ausgeführt. Es wurde aus der Cassette die metallene Zwischenwand herausgenommen, um die davon herrührende Metallreflexion zu verhindern. Es wurde die Reflexion bei folgenden Substanzen constatirt: Stanniol, Zink, Messing, Blei, Silber, Kupfer, Stahl, Aluminium, Flintglas.

8) Am stärksten wurde die Reflexion beim Stanniol gefunden; die Dicke der Schicht zeigte sich von Einfluß, denn legt man ein Blatt (0,011 mm dick) und dann 6 aufeinander geschichtete Stanniolblätter neben einander, so sieht man deutlich, daß die 6 Blätter stärker reflektiren, als das einzelne Blatt; eine Vermehrung der 6 Blätter auf 12 oder mehr hatte keinen Einfluß mehr.

Von Interesse ist die Frage, ob die Aufeinanderschichtung der Blätter eine andere Wirkung ergiebt, als eine entsprechende Vermehrung der Dicke der reflektirenden Substanz, ob also der Sitz der Reflexion hauptsächlich an den Grenzflächen oder im Innern der Substanzen zu suchen ist. Versuche dieser Art sollen später mitgetheilt werden.

9) Ein Versuch, um bei einer hoch polirten Stahlplatte regelmäßige Reflexion nachzuweisen, hatte keinen Erfolg.

III.

10) Daß verschiedene Gläser sich beim Durchgange der X-Strahlen verschieden verhalten, ist bereits durch Röntgen nachgewiesen; besonders konstatirte er, daß Bleigläser sehr viel weniger durchlassen, als bleifreie Gläser. Um für eine größere Anzahl

1) Helmholtz, Pogg. Ann., Bd. 154. Wied. Ann., Bd. 48. Herr Professor W. Voigt hat nach einer mündlichen Mittheilung in dem 2. Bande seines „Compendiums der theoretischen Physik" besonders hierauf hingewiesen.

Gläser die Durchlässigkeit zu prüfen, wurden 23 Glassorten der Untersuchung unterworfen. Die Glasstückchen hatten sämmtlich die gleiche Dicke von 2,9 mm und waren 2 qcm groß. Die photographische Aufnahme (Tafel II) zeigt die große Verschiedenheit der Durchlässigkeit; die Reproduktion giebt nur für die erste Reihe die Unterschiede wieder. Außer dem Bleigehalt ist besonders die Phosphorsäure und der Baryt der Durchlässigkeit schädlich.

11) Um den Einfluß der einzelnen Bestandtheile näher zu prüfen, wurden dieselben für sich untersucht. Es ergab sich, daß am besten durchlässig war:

A. Borsäure, Natriumsalpeter, 97 % Soda, Thonerde (Aluminiumoxyd);

weniger durchlässig waren:

B. Kaliumsalpeter, Zinkoxyd, Sand, Pottasche;

am wenigsten durchlässig erwiesen sich:

C. Bleioxyd, Mennige, Antimonoxyd, Salpeters. Baryt.

Der Unterschied der Gruppen A und B ist kleiner, als jener der Gruppen B und C.

IV.

12) Läßt man die Röntgen'schen Strahlen zwei photographische Trockenplatten, die beide so gestellt sind, daß die empfindlichen Schichten den Strahlen zugekehrt sind, nach einander durchsetzen, so zeigt auch die an zweiter Stelle getroffene Platte eine deutliche Wirkung; dieselbe ist allerdings geringer als auf der ersten Platte. Folgender Versuch beweist aber, daß die Abschwächung, welche die zweite Platte erkennen läßt, fast allein durch die Glasmasse der ersten Platte, nicht aber durch die empfindliche Gelatinehaut veranlaßt ist. Es wurde eine photographische Platte in zwei Theile zerschnitten und die eine Hälfte von der empfindlichen Schicht befreit. Die beiden Hälften wurden auf einer zweiten Platte neben einander gelegt und die Kombination der Wirkung der Strahlen so ausgesetzt, daß zuerst die beiden Hälften und dann die zweite empfindliche Platte von den Strahlen getroffen wurde. Die letztere ließ nach der Entwickelung keinen Unterschied erkennen. Hieraus geht hervor, daß die empfindliche Schicht einer Trockenplatte nur einen sehr geringen Bruchtheil der Röntgen'schen Strahlen absorbirt, den weitaus größten Theil also durchgehen läßt.

13) Röntgen hat die Frage offen gelassen, ob die chemische Wirkung auf die Silbersalze der photographischen Platte direkt

von den X-Strahlen ausgeübt wird, oder ob eine Fluorescenzwirkung, sei es der empfindlichen Schicht, sei es des Glases, die Wirkung bedingt. Wir glauben durch folgende Versuche entschieden zu haben, daß die Fluorescenz keine oder nur eine sehr geringe Rolle bei dem Vorgange spielt. Läßt man die X-Strahlen auf eine photographische Platte wirken, deren empfindliche Schicht von den Strahlen abgewandt ist und die zum Theil von einer Glasplatte berührt wird, so zeigt sich keine Wirkung der berührenden Glasplatte. Hätte diese Platte fluorescirend auf die empfindliche Schicht eingewirkt, so hätte sie sich abbilden müssen. Der zweite Versuch wurde in gleicher Weise ausgeführt, nur wurde jetzt die empfindliche Schicht der ersten Platte zum Theil von einer empfindlichen Schicht einer zweiten Platte berührt. Auch diese Anordnung zeigte eine ganz gleichmäßige Wirkung der X-Strahlen, woraus folgt, daß auch die zweite empfindliche Gelatinehaut keinen erkennbaren Betrag durch Fluorescenzwirkung zu der auf der ersten Schicht beobachteten Wirkung beiträgt.

Will man also Fluorescenz und eine indirekte photochemische Wirkung annehmen, so bleibt jedenfalls nur die Möglichkeit eines Fluorescenzlichtes, das bereits in einer gegen die Gelatineschicht sehr geringen Schichtdicke von der Gelatine stark absorbirt wird.

V.

14) Bei den Versuchen, welche zur Bestimmung an Brechungsexponenten der X-Strahlen mittels Metallprismen ausgeführt wurden, bildete sich auf der photographischen Platte die Metallklemme ab, mit der die Cassette gehalten wurde. Da die ganze Cassette, die 15 cm hoch und 11 cm breit war, in dem geometrischen Schatten der Bleiplatten lag, war eine direkte Wirkung der X-Strahlen ausgeschlossen. Mehrfache Abänderung der Versuche ergab, daß das Holz des Experimentirtisches, auf dem der Apparat aufgebaut war, die Ursache der erwähnten Abbildung war; denn als die Apparate auf einer großen Eisenplatte montirt waren, blieb die Wirkung aus. Auch subjektiv, nämlich vermittels des fluorescirenden Schirmes, war die Wirkung deutlich zu sehen. Aus der Thatsache, daß eine Verstärkung des Bleischirmes nichts an der Erscheinung änderte, war zu erkennen, daß diese jedenfalls nicht von den durchgelassenen Strahlen herrühren konnte. Diese Beobachtungen waren die Veranlassung zu einer weiteren Untersuchung, welche folgendermaßen ausgeführt wurde.

15) Sämmtliche Apparate standen auf einem Eisenplanum von

40 cm Breite und 60 cm Länge. Die HITTORFF'sche Röhre wurde in horizontaler Richtung in einer Entfernung von 11 cm von dem genannten Planum gehalten. Vor der Röhre in der Richtung der Strahlen in einem Abstand von 8 cm stand eine Eisenplatte von 22,5 cm Höhe, 34 cm Breite und 5 cm Dicke. Der Röhre gegenüber auf der anderen Seite der Eisenplatte in einer Entfernung von 7,5 cm wurde ein schwarzer Schirm mit Bariumplatincyanür bestrichen aufgestellt. Dieser Schirm befand sich in einem Kästchen, dessen Seitenwände mit Bleiplatten von 1,3 mm Dicke bedeckt waren; das Kästchen lag vollkommen in dem geometrischen Schatten der Eisenplatte. Stellt man dann eine Holzplatte (54 cm hoch, 70 cm breit, 4,5 cm dick) zwischen den Schirm und die Eisenplatte, so leuchtet der Schirm auf; dasselbe geschieht in noch stärkerem Maße, wenn die Holzplatte zwischen dem Rohre und der Eisenplatte aufgestellt wird. Wird endlich die Holzplatte oberhalb der Eisenplatte vertikal, parallel dieser Platte, gehalten, ohne letztere zu berühren, so leuchtet der Schirm noch heller als in den beiden genannten Versuchen.

16) In ähnlicher Weise wie Holz verhielten sich:

Paraffin und Kohle (aus einem Element entnommen),
Schellak,
Papier (ein Buch),
Hartkautschuk,
Glas,
Stanniol (2 Blätter),
Aluminium,
verzinktes Eisenblech.

Die Körper sind der Stärke ihrer Wirkung nach geordnet, sodaß Paraffin und Kohle die beste Wirkung besitzen.

17) Die Versuche wurden vielfach abgeändert, immer ergab sich das gleiche Resultat, daß die Wirkung nicht durch eine diffuse Reflexion der von den X-Strahlen getroffenen Theile bedingt wird (denn bei der unter 15 beschriebenen Anordnung können die reflektirten Strahlen den Bariumplatincyanür-Schirm gar nicht treffen), sondern daß die von den Strahlen getroffenen Körper nach allen Seiten (nicht bloß nach außen, sondern auch nach innen) die Strahlen aussenden, also diffus ausbreiten. In VI ist ein Versuch beschrieben, welcher die photographische Wirkung der diffusen Ausbreitung zeigt.

18) Außer den genannten Körpern wurden viele Flüssigkeiten

untersucht. Auch hier zeigten sich deutliche Wirkungen, bei denen aber die Möglichkeit einer diffusen Reflexion nicht ausgeschlossen war.

VI.

19) Bei den unter II beschriebenen Reflexionsversuchen wurde auch eine größere Anzahl von Krystallen untersucht. Hierbei zeigte sich, daß der Flußspath eine enorme Wirkung hervorrief; die Stellen der photographischen Schicht, an welchen der Flußspath gelegen hatte, wurden bei der Entwicklung so schwarz, als ob sie direct vom Tageslicht getroffen wären. Um zu erfahren, ob hier ein Zufall vorliege, wurden gleichzeitig mehrere Flußspathkrystalle mit der empfindlichen Schicht in Berührung gebracht; aber alle zeigten das gleiche Resultat.

20) Daß diese starke Wirkung des Flußspaths nicht durch Reflexion veranlaßt ist, ergiebt sich unmittelbar daraus, daß durch eine einmalige Reflexion höchstens die doppelte Intensität gegenüber jener ohne Reflexion erreicht wird. In dem vorliegenden Falle war aber die Intensität an den vom Flußspath bedeckten Stellen mindestens 100 Mal so groß, als anderswo.

21) Es muß daher durch den Flußspath eine Umwandlung der Röntgen'schen Strahlen in solche anderer Wellenlänge eintreten, die im Folgenden der Kürze halber als Flußspathstrahlen bezeichnet werden mögen.

22) Daß in der That eine Umwandlung stattgefunden hat, ergiebt sich aus zahlreichen Versuchen. Die Röntgen'schen Strahlen treffen bei diesen Versuchen, ebenso wie bei den Reflexionsversuchen, zuerst das Glas der photographischen Platte, dann die empfindliche Schicht und endlich den Flußspath. Legt man zwischen die empfindliche Schicht und den Flußspath ein dünnes Blatt von Papier oder von Stanniol, so hört die Wirkung des Flußspaths vollständig auf. Da die Röntgen'schen Strahlen durch dünne Schichten von Papier und Stanniol fast ungeschwächt hindurchgehen, so folgt aus dem Versuch, daß die Flußspathstrahlen im Gegensatz zu den Röntgen'schen Strahlen Papier und Stanniol nicht zu durchsetzen vermögen.

23) Wir haben den Brechungsexponenten der Flußspathstrahlen zu bestimmen gesucht. Hierzu wurde ein Flußspathprisma benutzt, nachdem konstatirt war, daß die Strahlen von den Gläsern stärker, als vom Flußspath selbst, absorbiert werden.

Die Anordnung der Versuche war folgende: Die Hittorff'sche

Röhre war horizontal aufgestellt und sandte die Röntgen'schen X-Strahlen auf die Objektivöffnung einer photographischen Camera, deren Objektiv entfernt war. An Stelle des Objektivs wurde (vom Rohr aus gesehen) zuerst ein Blatt schwarzen Cartonpapiers und dann ein Bleispalt eingesetzt. Hinter diesem befand sich eine Flußspathplatte (die auf einer Seite rauh gemacht war, und deren rauhe Seite der Hittorff'schen Röhre zugekehrt wurde), welche den Zweck hatte, die durch den Bleispalt tretenden Röntgen'schen Strahlen in Flußspathstrahlen zu verwandeln. Dann folgte eine große Bleiplatte mit einem zweiten Spalt von 18 mm Höhe und 1,4 mm Breite. Auf der Bleiplatte war ein Flußspathprisma von 19° 48′ brechendem Winkel so gesetzt, daß die obere Hälfte des Spaltes frei blieb. Auf der photographischen Platte, die 76,35 mm vom Spalt entfernt stand, erhielt man dann das abgelenkte und das unabgelenkte Spaltbild [1]; der Abstand dieser Bilder war 13,7 mm. Aus diesen Daten ergiebt sich der Brechungsexponent für die Flußspathstrahlen, die durch Umwandlung der Röntgen'schen Strahlen entstehen, wenn man sich mit zwei Decimalen begnügt

$$n = 1{,}48.$$

Nach der Beobachtung von Sarasin [2]) entspricht diesem Brechungsexponenten sehr nahe die Linie Cd_{25} des Cadmiumspektrums mit der Wellenlänge $219 . 10^{-6}$. Nimmt man an, was wahrscheinlich ist, daß die von uns untersuchten Flußspathstrahlen Transversalwellen darstellen, so würde ihnen die angegebene Wellenlänge als mittlerer Werth angehören, die Strahlen also weit im Ultravioletten liegen.

24) Eine Untersuchung der Frage, welche Schichtdicke des Flußspaths genügt, um eine Wirkung auf der photographischen Platte hervorzubringen, hat gezeigt, daß schon sehr kleine Dicken von wenigen hundertel Millimeter einen Eindruck hinterlassen. Ferner zeigte sich aber auch, daß Flußspathplatten, die auf beiden Seiten hoch polirt waren, unwirksam sind. Dieselben Platten werden sofort wirksam, sobald eine Seite rauh gemacht wird. Die Frage, wie dies zu erklären sei, namentlich ob bei Wegnahme der Politurschicht eine Wirkung sich geltend macht, ist noch zu untersuchen.

---

1) Bei der Fortführung der Versuche ist zur Erlangung genauerer Resultate beabsichtigt, a) mit drei Flußspathprismen in gleicher Anordnung, wie unter I bei Verwendung der Metallprismen, zu arbeiten, b) einen Spektrographen mit Flußspathlinsen zu verwenden.

2) Sarasin. Vgl. Landolt-Börnstein, Tabellen, II. Aufl., pg. 386.

25) Legt man auf die empfindliche Schicht einer photographischen Platte ein Flußspathstück, welches auf der einen Seite polirt, auf der andern rauh ist, und läßt die Röntgen'schen Strahlen zuerst durch den Flußspath gehen und erst dann auf die empfindliche Schicht wirken, so ist die Wirkung des Flußspaths dieselbe wie bei der früheren Anordnung unter 22. Es war dies Resultat, nachdem erkannt war, daß die Wirkung nicht durch Reflexion veranlaßt wird, zu erwarten.

26) Durch die Anwendung des Flußspaths läßt sich die Empfindlichkeit der photographischen Platten für die Röntgen'schen Strahlen ganz außerordentlich steigern. Schon in weniger als einer Sekunde erhält man deutliche Wirkungen; es wurden Knochenaufnahmen in wenigen Sekunden ausgeführt.

27) Wie sehr die Empfindlichkeit durch die Anwendung des Flußspaths gesteigert wird, geht aus folgendem Versuch hervor, welcher zugleich die in 17 beschriebene diffuse Ausbreitung der Röntgen'schen Strahlen in festen Körpern beweist. In einem Pappkästchen, das zur Verpackung photographischer Platten gedient hatte, wurde der Boden mit einer Bleiplatte von 1,3 mm Dicke bedeckt; auf der Bleiplatte lag eine photographische Platte mit der Schicht nach oben und auf dieser eine kleinere quadratische Flußspathplatte. Nachdem das Pappkästchen verschlossen war, wurde es den X-Strahlen, welche von unten nach oben wirkten, während 40 Sekunden ausgesetzt. Beim Entwickeln zeigte sich eine deutliche Abbildung der Flußspathplatte in der äußeren Begrenzung, d. h. die Ränder des Bildes waren dunkel, während die Mitte hell blieb. Hieraus geht hervor, daß die Wirkung nicht durch die Strahlen hervorgerufen war, welche senkrecht die untere horizontale Wand des Kästchens getroffen und etwa das Blei durchgesetzt hatten, sondern daß die Schwärzung der Ränder durch Strahlen bedingt war, die die Seitenwände des Pappkästchens erreicht und sich von da diffus nach allen Seiten bis zum Flußspath ausgebreitet hatten; hier wurden sie umgewandelt und wirkten dann auf die den Rändern nächst gelegenen Theile der empfindlichen Schicht. Daß diese Erklärung die richtige ist, ergiebt sich aus dem weiteren Versuche, der zeigte, daß die erwähnte Abbildung ausblieb, wenn nicht bloß die untere Wand des Kästchens, sondern auch die übrigen Wände mit Blei ausgelegt waren.

28) Wenn die angegebene Methode nur auf Flußspath-**Platten** angewiesen wäre, würde ihrer praktischen Verwendung manche

Schwierigkeit entgegenstehen, besonders wenn es sich um größere abzubildende Gegenstände handelt. Denn große tadellose Flußspathplatten sind kaum zu haben, mangelhafte Platten mit Sprüngen lassen sich aber deshalb nicht gut verwerthen, weil alle Unvollkommenheiten der Platte ebenfalls mit abgebildet werden.

Wir haben deshalb versucht, ob nicht ebensogute Wirkungen, wie mit wasserhellen, klaren, auf der einen Seite rauh gemachten Platten, sich mit Flußspath-**Pulvern** erreichen lassen. Verreibt man kleine Flußspathstückchen zu möglichst feinem Staub, so ist die Wirkung bedeutend abgeschwächt; wählt man größere Stückchen, so bilden sich die einzelnen Stückchen mehr oder weniger gut ab, sodaß eine so behandelte photographische Platte den Eindruck macht, als ob sie marmorirt wäre. Dagegen haben sich Stückchen etwa von der Größe von 0,3 mm gut bewährt; wir haben dieselben erhalten, indem wir grobere Flußspathstücke durch eine Mühle gehen ließen und durch Sieben den feineren Staub entfernten. Legt man von diesen kleinen Flußspathkrystallen eine genügende Menge in eine Cassette, darauf eine photographische Platte, sodaß die empfindliche Schicht an dem Flußspath anliegt, so erhält man bei Anwendung der Röntgen'schen Strahlen in wenig Sekunden die gewünschte Abbildung der Gegenstände, welche auf der Glasplatte, getrennt durch das Cassettenholz oder Papier, liegen. Die dunklen Theile der Platte zeigen zwar auch hier noch eine feinere Marmorirung, die bei Flußspathplatten fehlt, aber für die meisten Zwecke ganz belanglos ist. Wir haben die Absicht, den Versuch zu machen, die kleinen Flußspathkrystalle der photographischen Schicht direkt einzuverleiben.

Jena, Physikalisches Institut, 27. März 1896.

Nachtrag.

Im folgenden erlauben wir uns noch einige weitere Beobachtungen hinzuzufügen:

29) Nachdem die außerordentlich starke Wirkung des Flußspaths gegenüber den X-Strahlen konstatirt war, wurde eine größere Anzahl verschiedener Krystalle untersucht. Es ergab sich, daß mehrere Krystalle Wirkungen ähnlicher Art ausübten, wie der Flußspath, wenn auch in viel schwächerem Maße; hierzu gehören Cölestin, Schwerspath, Baryt, Strontianit. Nur der Zirkon gab Wirkungen, welche denen des Flußspaths sich annäherten. Eine weitere Verfolgung dieser Beobachtung bewies aber, daß die Wirkung eines Krystalles je nach dem Fundort desselben sehr verschieden sein kann. So wirkte ein Zirkon von Ceylon bedeutend stärker, als ein solcher aus Miask.

30) Hierdurch war nahegelegt, auch verschiedene Flußspathkrystalle zu untersuchen. Es wurden uns solche aus 15 verschiedenen Fundorten durch Herrn Prof. Dr. Linck aus dem hiesigen mineralogischen Institut in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt. Die Wirkung dieser Flußspathe war eine sehr verschiedene: bei einigen konnte man überhaupt keine Wirkung bei kurzer Expositionsdauer wahrnehmen; bei anderen waren schwache Wirkungen zu konstatiren; am stärksten war die Wirkung der Krystalle, welche wir früher zu unseren Versuchen benutzt hatten, und welche aus der Schweiz von der Oltschenalp bei Brienz stammten. Diesen kamen die Flußspathe aus dem Breisgau sehr nahe. Im Folgenden haben wir die Krystalle nach ihrer Wirksamkeit gegenüber den Röntgen'schen X-Strahlen geordnet; gleichzeitig ist die Farbe des Krystalles angegeben. Die Zusammenfassung der Fundorte durch eine Klammer bedeutet, daß die Wirkung der betreffenden Krystalle sich als nahezu gleich erwies.

{ 1) Oltschenalp bei Brienz (farblos, durchsichtig),
{ 2) Breisgau [1]) (farblos, durchsichtig),
3) Gotthardt (pfirsichroth),
4) „ (grün),

1) Eine genauere Ortsangabe war nicht zu ermitteln.

5) Bergheim im Oberelsaß (weiß, plattenförmig),
6) Freiberg in Sachsen (hellgelb),
7) Marienberg in Sachsen (grünlich),
8) Altenberg in Sachsen (violett),
9) Annaberg in Sachsen (gelbbraun),
10) „ (hellgelb),
11) Grafschaft Derbyshire in England (grün),
12) Stolberg im Harz (derb),
13) Grafschaft Derbyshire in England (grün),
14) England [1]) (violett),
15) Weardale, Cumberland (blaßolive),
16) Sachsen [1]) (hochgelb).

Die Ursache dieser starken Verschiedenheit läßt sich noch nicht angeben. Eine chemische Untersuchung des Krystalls No. 1, welcher, wie erwähnt, eine sehr starke Wirkung gab, wurde auf Veranlassung des Herrn Prof. Dr. Knorr im hiesigen chemischen Laboratorium durch Herrn Dr. Schmidt ausgeführt: es fand sich eine Spur von Eisen und eine bestimmbare Menge von Magnesium.

31) Die Wirkung des Flußspaths hängt indeß nicht allein von dem Krystall selbst resp. seinem Fundort ab, sondern auch von äußeren Umständen. Zunächst ist die Röhre, welche die X-Strahlen liefert, von Bedeutung. Setzt man nämlich Krystalle, welche verschieden wirksam sind, gleichzeitig den X-Strahlen aus, so zeigt sich auf der photographischen Platte, daß das Intensitätsverhältnis für die beiden Krystalle durchaus nicht konstant ist, sondern vielfach durch die Röhre bedingt wird, welche zur Anwendung kam. Hieraus geht hervor, daß verschiedene Röhren auch verschiedene Strahlen aussenden können. Das Intensitätsverhältnis für die verschiedenen Krystalle, welches den Angaben unter 30) zu Grunde gelegt ist, ist deshalb streng genommen nur für die Röhre giltig, welche bei der Beobachtung benutzt wurde. Da ferner die Röhren selbst wiederum keine konstanten Resultate liefern — die Wirkung kann mit wachsender Zeit zu- und abnehmen — so ist die genaue Bestimmung eines Intensitätsverhältnisses, welchem verschiedene Expositionszeiten zu Grunde liegen, außerordentlich erschwert. Dazu kommt noch, daß die photographischen Platten — auch wenn sie gleicher Herkunft sind — gegenüber der Flußspathwirkung ebenfalls große Unterschiede zeigen können; denn wir haben Platten

1) Eine genauere Ortsangabe war nicht zu ermitteln.

gefunden, bei denen die genannte Wirkung auf weniger als $^1/_{10}$ der früher ermittelten abgeschwächt war.

Alle diese Erfahrungen ließen die früher unter 20) mitgetheilte Angabe, daß der Flußspath die Wirkung der X-Strahlen auf die photographische Schicht auf den 100fachen Betrag zu steigern vermöge, einer Revision bedürftig erscheinen. Hierbei stellte sich heraus, daß die Zahl 100 nicht erreicht wird, sondern durch 30 bis 35 zu ersetzen ist. Dabei bleibt aber, wie wohl kaum besonders hervorzuheben nöthig ist, bestehen, daß man mit Hilfe des Flußspaths auch mit relativ schwachen Röhren innerhalb weniger Sekunden Aufnahmen machen kann. Dieselben zeigen aber nicht so scharfe Begrenzungen, wie die Photographien ohne Flußspath und zwar deshalb, weil die von den Strahlen getroffenen Flußspaththeilchen nicht bloß nach einer Richtung Strahlen aussenden, sondern nach allen Richtungen.

Der am Schluß unter 28) in Aussicht genommene Versuch, die kleinen Flußspathkrystalle der photographischen Schicht direkt einzuverleiben, wurde von Herrn Schüttauf in dankenswerther Weise ausgeführt. Indessen ist bisher noch kein Erfolg erzielt.

32) Unter 23) ist die Fortführung der Versuche, welche über die Brechbarkeit der von Flußspath ausgesandten Strahlen Aufschluß geben sollen, in Aussicht gestellt. Diese Versuche haben zu folgendem Ergebnis geführt.

a) Es wurden Versuche mit 3 Flußspathprismen von 35° brechendem Winkel ausgeführt und die Anordnung ebenso getroffen, wie unter I bei den Metallprismen angegeben ist. Um uns aber unabhängig von den Abständen zu machen, welche nur schwer mit Genauigkeit zu messen sind, wurden bei ganz unveränderter Aufstellung zwei verschiedene Aufnahmen gemacht: einmal für die Strahlen, welche vom Flußspath ausgesandt werden (vgl. 23), dann für die Strahlen, welche von einer Wasserstoffröhre ausgesandt wurden, von denen die Wellenlängen von $H\gamma$ an in Betracht kommen. Für die Flußspathstrahlen fand sich der Abstand der Spaltbilder auf der photographischen Platte gleich 42,0 mm, für die Wasserstoffstrahlen gleich 40,2 mm. Hieraus berechnet sich der mittlere Brechungsexponent der Flußspathstrahlen zu 1,46, während früher nach einem weniger genauen Verfahren 1,48 gefunden wurde. Dem Brechungsexponenten 1,46 entspricht nach den Beobachtungen von Sarasin[1]) die Wellenlänge

$$274 \cdot 10^{-6} \text{ mm.}$$

1) Landolt-Börnstein, Tabellen, II. Aufl., S. 386.

b) Einen genaueren Aufschluß über die Flußspathstrahlen erhält man durch die Ermittelung des Spektrums. An der Spaltöffnung von 0,35 mm eines Kollimators wurde eine Flußspathplatte befestigt, welche die von der HITTORF'schen Röhre ausgehenden X-Strahlen in Flußspathstrahlen verwandelte. Der Kollimator enthielt eine Quarzlinse von 25 cm Brennweite und 32 mm Offnung. Die aus dem Kollimator austretenden Strahlen fielen auf ein 60° CORNU'sches Doppelprisma von 35 mm Höhe und 40 mm Seite. Dieses ist aus einem rechts- und einem linksdrehenden 30° Quarzprisma so zusammengesetzt, daß die optischen Achsen auf der Berührungsfläche senkrecht stehen. Die Prismen waren mit Glycerin, das sich durch große Ultraviolettempfindlichkeit auszeichnet, verkittet. Zur Projektion des Spektrums wurde eine Quarzlinse von 30 cm Brennweite und 32 mm Öffnung benutzt [1]). Infolge der bedeutenden Fokusdifferenzen für die verschiedenen Teile des Spektrums darf die photographische Platte nicht senkrecht zu den bildentwerfenden Strahlen stehen, sondern muß gegen diese stark geneigt sein. Die richtige Entfernung und Neigung wurde durch Probiren gefunden.

Direkt unter das Fluorescenzspektrum des Flußspaths wurden die Spektren von Thallium, Zink und Aluminium photographiert und zu diesem Zwecke über den vertikalen Spalt des Kollimators ein ungefähr 2 mm breiter horizontaler Spalt verschoben; der 10 mm hohe Vertikalspalt erlaubte so 5 Aufnahmen auf einer Platte zu machen. Das Thalliumspektrum wurde durch Verdampfen von Thalliumchlorid im BUNSEN-Brenner, das Zink- und Aluminiumspektrum durch Überspringen des Induktionsfunkens zwischen Elektroden der beiden Stoffe unter Einschaltung einer großen Leydener Flasche erhalten. Die Aufnahme des Flußspathspektrums beanspruchte ungefähr 30, die der Vergleichsspektren 1 bis 2 Minuten. Die photographische Wirkung der Flußspathstrahlen beginnt auf unseren Platten bei $\lambda = 396 \cdot 10^{-6}$ mm, erreicht ein Maximum ungefähr bei $280 \cdot 10^{-6}$ und hört bei $233 \cdot 10^{-6}$ auf; weitere Intensitätsmaxima scheinen nicht vorhanden zu sein, doch ist zu beachten, daß die gewählte Spaltbreite feinere Abstufungen leicht verdecken konnte. Das obige Resultat ist in genügender Übereinstimmung mit dem unter a) gefundenen, wo als mittlere Wellenlänge $274 \cdot 10^{-6}$ mm angegeben ist.

---

1) Die Quarzlinsen und Quarzprismen wurden uns von Herrn Dr. V. SCHUMANN, dem wir auch an dieser Stelle unseren verbindlichen Dank aussprechen, überlassen.

33) Um den Einfluß der seltenen Erden auf die X-Strahlen kennen zu lernen, wurden von Herrn Dr. Schott in der hiesigen Glasfabrik eine Reihe neuer Gläser hergestellt; dieselben hatten eine möglichst gleichmäßige Zusammensetzung bis auf die charakteristischen Erden, deren Gehalt zwischen 10 und 5 Proz. lag. Als Beispiel möge die Zusammensetzung des Zirkonglases mitgetheilt werden; es enthielt:

$$14{,}5\ K_2O;\ 5{,}3\ Na_2O;\ 2{,}0\ CaO;\ 0{,}2\ As_2O_5;\ 8{,}0\ B_2O_3;\ 60{,}0\ SiO_2;\ 10{,}0\ ZrO_2.$$

Die Gläser wurden zunächst auf die Frage hin untersucht, ob sie wie der Flußspath die X-Strahlen umzuwandeln imstande sind. Die Strahlen trafen daher zunächst das Glas der photographischen Platte, dann die empfindliche Schicht und zuletzt das zu untersuchende Glas.

Das Glas mit Zirkon zeigte eine deutliche Wirkung, die aber ganz bedeutend schwächer war, als die des Flußspaths; eine geringere Wirkung als das Zirkonglas zeigte ein Glas mit Didym und ein solches mit Erbium; die Gläser mit Beryll, Uran, Cerium, Thorium zeigten gar keine Wirkung.

Ferner wurde die Durchlässigkeit der Gläser geprüft. Es sind hierbei nur jene Gläser vollkommen vergleichbar, deren Zusammensetzung bis auf die seltenen Erden übereinstimmt. Die Gläser sind in der folgenden Tabelle nach der Güte ihrer Durchlässigkeit geordnet; gleichzeitig ist das Atomgewicht der Erden und das specifische Gewicht der entsprechenden Oxyde angegeben.

	Atomgewicht der Erden	Specifisches Gewicht der Oxyde
1) Zirkonglas	90	5,73
2) Didymglas	142	6,95
3) Ceriumglas	140	6,74
4) Thoriumglas	231	9,86.

Das Zirkonglas läßt am besten die X-Strahlen durch; das Thoriumglas läßt in der benutzten Dicke von 3,8 mm keine merkbare Menge mehr durch. Man bemerkt, daß die Atomgewichte und die specifischen Gewichte der Oxyde mit wachsender Undurchlässigkeit, abgesehen von einer kleinen Differenz, ebenfalls wachsen.

Jena, den 30. Mai 1896.

Ohne Prismen.

Kupfer.

Eisen.

Silber.

Blei.

Zink.

Winkelmann & Straubel phot. Lichtdruck von J. B. Obernetter, München.

Winkelmann & Straubel phot. Lichtdruck von J. B Obernetter, München

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: NF_23

Autor(en)/Author(s): Winkelmann A., Straubel R.

Artikel/Article: Ueber einige Eigenschaften der Röntgen'schen X-Strahlen 555-570