wo 33515 die einem Molecül Wasser (18 g) entsprechende Anzahl Cubikcentimeter Knallgas, C die chemische Energie des galvanischen Elements und E seine electromotorische Kraft ist. Wählen wir als Einheit des Widerstandes denjenigen eines Kupferdrahtes von 1 m Länge und 1 mm Durchmesser und als Element die Daniell'sche Combination, dann ist:

$$C = 50130^{\circ}$$

$$E = 470,$$

und man erhält alsdann:

$$q = 0,00319^{\circ},$$

d. h. die Einheit der Stromstärke gibt in einer Minute in der Widerstandseinheit eine Wärmeentwicklung von 0,00319 Wärmeeinheiten (1 g Wasser um einen Centesimalgrad erwärmt) oder eine Wärmeeinheit in 313 Minuten. Die galvanische Wärmeentwicklung wird demnach

$$c = 0,00319 \cdot r \cdot i^2 \cdot t$$

in t Minuten für den Widerstand r und die Stromstärke i .

Universitätslaboratorium zu Kopenhagen, April 1880.

VI. Ueber die photo- und thermoelectrischen Eigenschaften des Flussspathes; von W. Hankel.

(Aus den Berichten der math.-phys. Classe der Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Sitzung vom 3. März 1879; mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

In der Sitzung vom 23. April 1877 habe ich eine kurze vorläufige Mittheilung über die von mir auf gefärbten Flussspathen durch die Einwirkung des Lichtes erzeugten electrischen Spannungen gemacht. Die Veranlassung zu der Entdeckung dieser photoelectrischen Erregbarkeit des Flussspathes gab mir, wie ich damals erwähnt habe, die Wahrnehmung, dass auf der Oberfläche der violblau erscheinenden Flussspathkrystalle von Weardale durch Temperaturänderungen electrische Spannungen entstanden. Die Untersuchung der durch die Einwirkungen des Lichtes hervorgerufenen electrischen Spannungen nahm jedoch bis zu jener Sitzung

mein Interesse so vollständig in Anspruch, dass ich in der oben erwähnten Mittheilung hinzufügte, ich hätte bis dahin nicht Zeit gehabt, die infolge von Temperaturänderungen auftretenden electricen Spannungen ihrer Entstehung und Bedeutung nach näher zu erforschen.

Nachdem ich dann theils durch Kauf, theils durch die freundliche Unterstützung der Herren Professoren Zirkel und Weisbach eine grössere Anzahl farbiger Flussspathkrystalle erlangt, habe ich die Untersuchung von Neuem aufgenommen, und beide Erregungsweisen, sowohl die photoelectriche als auch die thermoelectriche, einer sorgfältigen und umfassenden Prüfung unterworfen.

Die Ergebnisse derselben sind in der unten bezeichneten Abhandlung¹⁾ zusammengestellt.

In dem ersten Theile dieser Abhandlung ist das bei den Versuchen angewandte Verfahren ausführlich erläutert, während der zweite Theil die Beobachtungen der photoelectriche und thermoelectriche Spannungen auf der Oberfläche von 24 Flussspathkrystallen darlegt, und zwar mit Zuhülfnahme von drei Tafeln, auf welchen die einzelnen Flächen der untersuchten Krystalle abgebildet sind. In diese Zeichnungen habe ich die an den verschiedenen Punkten der Oberfläche gemessenen Werthe der electricen Spannungen eingetragen und zur leichteren Uebersicht die positiven und negativen Flächenstücke durch verschiedene Farben kenntlich gemacht.

Bei diesen Untersuchungen wurden die Krystalle bis auf die zu prüfende Fläche (Kante, Ecke) in Kupferfeilicht eingesetzt und dann die freie Fläche der Bestrahlung durch das zerstreute Tageslicht oder durch das directe Sonnenlicht, oder durch das electriche Kohlenlicht unterworfen.

Es wurden untersucht: 1) grüne Flussspäthe von Wear-dale und Alston Moor; 2) im reflectirten Lichte violblau erscheinende Krystalle derselben Fundorte; 3) ein blauer Flussspath vom Churprinz bei Freiberg; 4) im reflectirten

1) Electriche Untersuchungen. 14. Abhandlung. Photo- und thermoelectriche Eigenschaften des Flussspathes. Bd. 20. der Abh. der Kgl. Sächs. Ges. der Wiss. oder Bd. 12. der math.-phys. Classe. Mit drei Tafeln.

Lichte schwach bräunlich erscheinende Krystalle von Wear-dale; 5) ein braunweisser Flussspath aus England; 6) ein grünlichweisser Flussspath aus Cornwall; und 7) fast farblose Flussspathkrystalle von Stolberg am Harz.

Die violblau aussehenden Krystalle von Weardale und Alston Moor zeigen diese Farbe nur im reflectirten Lichte; im durchgehenden erscheinen sie grünlich, doch ist diese grünliche Färbung meistens nur schwach und geht öfter ins Grauliche über; auch wechseln bisweilen grüne Schichten mit rothen ab. Anders verhält sich der blaue Flussspath vom Churprinz; seine Substanz ist nicht durchsichtig, vielmehr meistens so trübe, dass sie fast undurchsichtig wird und nur an reineren Stellen sich durchscheinend zeigt. Das durch sie hindurch gegangene Licht erscheint hellblau, während das reflectirte eine viel dunklere blaue Nüance darbietet.

In dem dritten Theile der Abhandlung sind sodann die aus den Beobachtungen sich ergebenden allgemeinen Resultate zusammengestellt worden.

Da es nicht möglich ist, in diesem Berichte auf die Beobachtungen an den einzelnen Krystallen näher einzugehen, so beschränke ich mich auf eine Angabe der allgemeinen Resultate.

Photoelectricität. — Die Mitten der Würfelflächen der Flussspathkrystalle werden durch die Belichtung negativ; die Intensität dieser negativen Spannungen nimmt nach den Rändern und besonders nach den Ecken hin ab; auf manchen Flächen erstreckt sich dieselbe bis zu den Rändern und Ecken.

Bei den meisten, namentlich grösseren Krystallen, zeigen jedoch die Ecken und zum Theil auch die seitlichen Ränder der Flächen die entgegengesetzte, also positive Polarität. Gewöhnlich ist dieselbe aber auf einen kleineren Flächenraum beschränkt, als die in dem mittleren Theile herrschende negative. Liegt daher die ganze Würfelfläche (oder die an ihrer Stelle befindlichen Flächen des häufig vorhandenen, sehr stumpfen Pyramidenwürfels) frei, so wird die positive Electricität der Ecken und Ränder in ihrer Vertheilungs-

wirkung auf den zur Prüfung angenäherten und mit dem Goldblättchen des Electrometers verbundenen Platindraht leicht durch die stärkere negative Electricität der mittleren Theile unterdrückt und kommt nicht zur Erscheinung; sie kann aber durch Bedecken der mittleren Theile mit zur Erde abgeleitetem Kupferfeilicht in ihrer Wirkung sichtbar gemacht werden.

Die Grenzen zwischen dem positiven und negativen Bereiche einer Krystallfläche, und ebenso die Verhältnisse der Intensitäten, welche die beiden Electricitäten auf einer solchen Fläche zeigen, lassen sich durch die Art der Bestrahlung, namentlich wenn auch noch mehr oder weniger grosse Stücke der seitlich anliegenden Würfelflächen dem Lichte gleichzeitig mit ausgesetzt werden, etwas verschieben und ändern.

Auf das Hervortreten der positiven Polarität an den Ecken und besonders auch an den Rändern ist ferner die Art, wie die Krystalle sich gebildet haben, von Einfluss. Auf der der Anwachsungsstelle gerade gegenüberliegenden Würfelfläche erscheint vorzugsweise negative Electricität; dagegen zeigen die Bruchstücke derjenigen Flächen, welche zwischen dieser vollständig ausgebildeten Fläche und der Anwachsungsstelle liegen, an ihren ausgebildeten Rändern stärkere und ausgedehntere positive Spannungen, deren Intensität jedoch von dem Rande nach dem mittleren und dem verbrochenen Theile hin abnimmt. Diese Bruchstücke stellen mehr oder weniger nur den gegen die vollständig ausgebildete Fläche hin gelegenen Rand der betreffenden Würfelflächen dar.

Die Bruchflächen, welche durch das Abbrechen des Krystalles von anderen Krystallen oder von fremdem Gesteine entstanden sind und also an und in der Umgebung der ehemaligen Anwachsungsstelle liegen, werden durch Belichten positiv.

Diese positive Polarität der Bruchflächen besitzt meistens eine nicht unbeträchtliche Stärke; bei vielen Krystallen übertrifft sie, namentlich wenn den Bruchflächen der Farbestoff

nicht fehlt, in ihrer Intensität die auf der Mitte der vorhandenen Krystallflächen erregte negative Spannung.

Eben dies gilt auch von den Stücken der ebenen Durchgangsf lächen, welche zwischen und neben den Bruchflächen an dem verbrochenen Ende auftreten.

Das Verhalten von Durchgangsf lächen, welche an dem frei ausgebildeten Ende der Würfel durch Anschlagen entstehen, habe ich wegen Mangels an geeignetem Material noch nicht ermitteln können.

Die im Vorstehenden charakterisirte Wirkung des Lichtes auf die Flussspathkrystalle geht hauptsächlich von den chemisch wirkenden Strahlen aus; sowohl hinter einem mit Kupferoxydul roth gefärbten Glase, als auch hinter einer Schicht einer klaren Lösung von schwefelsaurem Chinin ist die Erregung der Electricität nur äusserst gering, während sie durch Einschaltung einer Schicht Wasser oder Alaunlösung in den Weg der Strahlen nicht wesentlich vermindert wird.

Bei sehr empfindlichen Krystallen genügt schon ein kurzes Aussetzen an das Tageslicht, um merkliche electriche Spannungen zu erhalten; durch längeres Belichten steigt die Intensität derselben.

Die directen Strahlen der Sonne wirken viel kräftiger als das zerstreute Tageslicht.

Noch stärker erregend als das Sonnenlicht zeigt sich das electriche Kohlenlicht, sodass durch letzteres selbst auf Krystallen, welche durch längeres Aussetzen an das zerstreute oder directe Sonnenlicht keine merklichen electriche Spannungen annehmen, solche, bisweilen sogar in ziemlicher Stärke, hervorgerufen werden können.

Auch durch das Licht der Entladungsfunken zwischen zwei Leydener Flaschen lassen sich photoelectriche Spannungen auf den Flussspathkrystallen erzeugen, während das Licht einer Geissler'schen Röhre ungenügend erscheint.

Am stärksten photoelectriche erregbar sind die grünen Krystalle von Weardale, und es nimmt die Intensität der durch eine gleiche Bestrahlung erregten electriche Spannungen im Allgemeinen mit der Tiefe der Färbung zu.

Weniger erregbar sind die in ihrer Masse schwachgrünlich oder graugrünlich gefärbten, aber durch Fluorescenz prächtig violblau erscheinenden Flussspäthe von Weardale und Alston Moor, sowie die entenblauen vom Churprinz bei Freiberg. Die durchsichtigen, braunroth fluorescirenden Flussspathkrystalle von Weardale werden meistens durch das Tageslicht, und zum Theil selbst durch das Sonnenlicht nicht electricisch, wohl aber durch das electricische Kohlenlicht. Die weisslichgrünen Flussspäthe von Cornwall zeigen sich nur schwach electricisch; eben dies gilt auch von den fast farblosen Krystallen von Stolberg am Harz, bei denen der eigenthümliche Fall vorkam, dass auf einem sehr schönen, grossen Krystalle beim Belichten bloß die der am reinsten ausgebildeten Ecke entsprechende positive Polarität auftrat, während die negative auf den Mitten der Flächen sich nicht hervorrufen liess, selbst nicht durch das electricische Kohlenlicht. Auf den gelben Annaberger Krystallen konnte weder durch Tages- und Sonnenlicht, noch auch durch das electricische Kohlenlicht eine electricische Spannung erzeugt werden.

Die auf den Flussspathkrystallen durch Belichtung hervorgerufenen Spannungen haben das Eigenthümliche, dass sie beim Stehen im Dunkeln nicht in die ihnen polar entgegengesetzten übergehen. Wird die Fläche eines durch Belichtung stark electricisirten Flussspathes mittelst Ueberstreichens mit einer Alkoholflamme von der auf ihr vorhandenen Electricität befreit, so bleibt sie, ins Dunkle gestellt, unelectrisch, oder es erscheint noch ein kleiner Rest der vorherigen Ladung, die also nicht vollständig hinweggenommen war.

Die Erregung der Electricität durch das Licht erfolgt durch einen Vorgang, bei welchem der Farbstoff der Krystalle theilhaftig ist. Durch sehr langes und starkes Belichten lässt sich die Erregbarkeit der Flächen beträchtlich schwächen, und die geringen Spannungen, welche öfter gerade auf den am vollkommensten ausgebildeten Flächen mancher Krystalle auftreten, während die umliegenden Flächen stärkere Spannungen zeigen, sind wohl meist eine Folge davon, dass diese Krystalle in den Schaukästen der Museen so ge-

legen haben, dass eben jene vollkommenen Flächen dem Beschauer und somit dem Lichte zugekehrt gewesen und dadurch in ihrer Erregbarkeit geschwächt worden sind. Auf einer absichtlich durch zu langes und starkes Bestrahlen geschwächten Fläche stellt sich selbst durch jahrelanges Aufbewahren im Dunkeln die frühere Empfindlichkeit nicht wieder her.

Mit der Betheiligung des Farbstoffes bei der Erregung der Electricität steht auch der vorhin angeführte Umstand, dass nach dem Entfernen der durch Belichtung erzeugten Electricität beim Stehen im Dunkeln keine Umkehrung in die entgegengesetzte Polarität eintritt, in Verbindung.

Durch eine mässige Erhitzung der Flussspathkrystalle wird die photoelectrische Erregbarkeit derselben erhöht. Bereits eine Erhitzung bis 80° C. wirkt in dieser Beziehung günstig, noch mehr eine Erhitzung bis 130 oder 150° C. Eine sehr viel höhere Temperatur muss selbstverständlich die photoelectrische Eigenschaft zerstören; es wäre selbst möglich, dass schon bei der öfter von mir angewandten Temperatur von 180° C. die Grenze, bei welcher die Erregbarkeit am meisten erhöht wird, bereits etwas überschritten ist.

Dabei bleibt es fraglich, ob auch bei frisch aus der Grube genommenen, dem Lichte noch nicht preisgegebenen und dadurch in ihrer photoelectrischen Eigenschaft noch nicht geschwächten Flussspathkrystallen eine Erhitzung bis 150° ebenfalls die Erregbarkeit durch das Licht zu erhöhen vermag, oder ob nur auf bereits geschwächten Krystallflächen der Zustand mehr oder weniger angenähert wiederhergestellt wird, wie er ursprünglich auf dieser Fläche bestand. Es hat mir wenigstens den Eindruck gemacht, als ob auf frischen Bruchflächen durch eine Erhitzung die photoelectrische Erregbarkeit nicht wesentlich erhöht wird.

Die Masse der Flussspathkrystalle und ebenso ihre Oberfläche isolirt vortrefflich und hält die electricische Ladung ungemein lange. Dieses Verhalten der Oberfläche hängt wohl mit dem Umstande zusammen, dass dieselbe vom Wasser nicht benetzt wird.

Thermoelectricität. — Durch die Verschiedenheit zwischen den Ecken- und Flächenaxen der Flussspathkrystalle ist die Möglichkeit gegeben, dass auf ihrer Oberfläche durch Temperaturänderungen electriche Spannungen auftreten, und zwar folgen diese electriche Vorgänge dem bei allen thermoelectricen Krystallen ausnahmslos bewahrheiteten Gesetze, dass die Polaritäten bei sinkender Temperatur gerade die entgegengesetzten sind als bei steigender.

Beim Steigen der Temperatur stimmen nun die auf der Oberfläche der Flussspathkrystalle entstehenden electriche Spannungen in ihrem Vorzeichen mit den durch die Belichtung hervorgerufenen überein.

Beim Sinken der Temperatur verwandeln sich die von der Erhitzung erzeugten Electricitäten in die entgegengesetzten; die beim Erkalten auftretenden Spannungen sind also sowohl den durch die Steigerung der Temperatur als auch den durch die Belichtung entstehenden entgegengesetzt.

Obwohl nun die durch die Belichtung und die durch Erhöhung der Temperatur hervorgerufenen electriche Spannungen in ihrem Vorzeichen übereinstimmen, so muss ihre Entstehung doch auf verschiedenen Vorgängen beruhen, oder wenn sie durch denselben Vorgang erzeugt werden, so muss solcher durch die Belichtung einen vollständigen Abschluss finden, während derselbe, wenn er durch eine mässige Steigerung der Temperatur entstanden ist, nicht abschliesst, sondern bei dem Sinken derselben wieder zurückgeht; denn die bei steigender Temperatur auftretenden Polaritäten kehren sich bei dem Erkalten um, während nach der Belichtung die entgegengesetzten Electricitäten im Dunkeln nicht auftreten.

Bei den durch das Licht stark erregbaren Flussspäthen ruft auch die Temperaturänderung eine ziemlich starke electriche Polarität hervor; sie ist bei diesen Krystallen jedoch stets schwächer als die durch das Licht erzeugbare.

Bei manchen durch das Licht weniger erregbaren Krystallen sind dagegen die thermoelectriche Spannungen grösser als die photoelectriche; dies tritt ein bei manchen Flächen der grünen und violblauen Krystalle, bei denen jedoch wahrscheinlich die Empfindlichkeit gegen das Licht durch

vorhergegangene schädigende Einwirkungen geschwächt worden ist. Durchweg die photoelectrischen an Stärke übertreffend zeigen sich aber die thermoelectrischen Spannungen auf den braunröthlichen oder braunvioletten Krystallen, welche im Sonnenlichte gar nicht und nur durch das electrische Kohlenlicht einigermassen electrisch werden. Auch bei den fast farblosen Krystallen von Stolberg am Harz sind öfter die thermoelectrischen Spannungen stärker als die photoelectrischen.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich nun sofort die Vertheilung der thermoelectrischen Polaritäten auf der Oberfläche der Flussspathkrystalle.

Bei steigender Temperatur sind ebenso wie beim Belichten die Mitten der Würfelflächen negativ; diese negative Spannung nimmt von hier aus nach den Rändern und namentlich nach den Ecken hin ab. Sehr oft zeigt die ganze Fläche negative Polarität.

Auf anderen, namentlich grösseren Krystallen treten, entsprechend den Vorgängen beim Belichten, an den Ecken und wohl auch noch an den Rändern positive Spannungen hervor.

Beim Erkalten sind die Polaritäten die gerade entgegengesetzten; die Mitten der Flächen zeigen positive Electricität, abnehmend nach den Rändern und den Ecken. Letztere zeigen entweder noch schwache positive Electricität oder tragen negative Spannungen. Diese negativen Spannungen sind oft zu schwach, um bei ganzer freier Fläche wahrgenommen zu werden; durch Bedecken der mittleren positiven Theile mit zur Erde abgeleitetem Kupferfeilicht können sie sichtbar gemacht werden.

Wenn die Grenzen zwischen den positiven und negativen Bereichen auf den Flächen bei der Belichtung öfter etwas anders verlaufen als bei der Abkühlung, oder die Verhältnisse zwischen den Intensitäten in beiden Fällen nicht genau dieselben sind, so wird diese Abweichung dadurch bedingt, dass die Belichtung den Krystall in anderer Weise trifft als die Abkühlung, wie ja solche Schwankungen selbst bei verschiedenen Bestrahlungen vorkommen.

Auf den Flächen, welche durch Abbrechen der Krystalle von ihrer Unterlage entstanden sind, mögen sie unregelmässig verlaufende Bruchflächen oder Stücke von ebenen Durchgängen sein, erscheint bei steigender Temperatur positive, bei sinkender negative Polarität.

Die beim Erkalten hervortretenden electricen Spannungen werden stärker, wenn die vorhergehende Temperatursteigerung eine höhere war, wenigstens innerhalb der Grenze bis 150° C.

VII. *Ueber die electricen Elementargesetze; von Eduard Riecke.*¹⁾

I. Das Ampère'sche Gesetz.

Bei dem Beweise des Ampère'schen Gesetzes pflegt man in der Regel einen synthetischen Weg zu verfolgen, indem man ausgeht von einer Reihe von Sätzen, welche zum Theil rein hypothetischer Natur, zum Theil der Ausdruck gewisser durch Beobachtung festgestellter Thatsachen sind. Es scheint für die Kenntniss des Ampère'schen Gesetzes und die erfahrungsmässige Begründung desselben nicht ohne Vortheil zu sein, den umgekehrten Weg zu verfolgen, d. h. von dem gegebenen Ausdrucke des Gesetzes auszugehen und dasselbe in einfachere Wirkungen aufzulösen, als deren Resultante

1) Die folgende Arbeit bildet im wesentlichen einen Auszug aus zwei Abhandlungen, welche der Verfasser im 20. und 25. Bande der Abhandlungen der k. Ges. d. Wiss. zu Göttingen veröffentlicht hat. Die drei ersten Abschnitte, I. das Ampère'sche Gesetz, II. das Potentialgesetz von Helmholtz in seiner Beziehung zum Ampère'schen Gesetz, III. das Helmholtz'sche Potential in seiner Beziehung zum Weber'schen Grundgesetze, sind der zweiten Abhandlung, der IV. Abschnitt, das electromotorische Elementargesetz und das Princip der Erhaltung der Energie ist der erstgenannten Abhandlung entnommen. Neu hinzugefügt ist der V. Abschnitt, das Weber'sche Gesetz der elementaren electromotorischen Kraft und das Potentialgesetz, während der VI. Abschnitt, über das Gesetz von Clausius, wieder der zweiten Abhandlung angehört.