**4. Beobachtungen über den Effekt des elektrischen Feldes, die Druckverschiebung und die Verbreiterung von Serienlinien;
von M. Ritter.**

Inhalt: § 1. Aufgabe. — § 2. Methoden. — § 3. Zinklinien. —
§ 4. Quecksilberlinien. — § 5. Lithiumlinien. — § 6. Calciumlinien. —
§ 7. Zusammenfassung.

§ 1. Aufgabe.

Über die Verschiebung von Spektrallinien durch die Erhöhung des Gasdruckes liegt bereits eine große Zahl von Beobachtungen vor.¹⁾ Auch sind zur Erklärung der Erscheinung bereits eine Reihe von Hypothesen und Theorien aufgestellt worden. Zuletzt hat J. Stark²⁾ folgende Erklärung für die Druckverschiebung als sehr wahrscheinlich bezeichnet:

Wie er³⁾ und andere Beobachter gezeigt haben, werden Spektrallinien unter der Wirkung eines endlichen (homogenen) elektrischen Feldes in Komponenten zerlegt oder ohne Zerlegung verschoben. Erfolgt die Emission von Spektrallinien, während sich ihre Träger im elektrischen Feld von seiten benachbarter Moleküle (Ionen) befinden — Stark nennt diese Felder zwischenmolekular oder molelektrisch —, so muß ebenfalls eine Zerlegung oder Verschiebung der Linien eintreten. Da in einem Haufen zahlreicher Serienträger gleichzeitig verschieden starke elektrische Felder wirksam sind, so werden die Zerlegungen bzw. Verschiebungen für die verschiedenen Träger verschieden groß sein, und die von der Gesamtheit der Träger gelieferte Spektrallinie wird darum eine Verbreiterung

1) W. J. Humphreys, Bericht über die Verschiebung von Spektrallinien durch Druck. *Jahrb. d. Rad. u. El.* 5. p. 324. 1908.

2) J. Stark u. H. Kirschbaum, *Ann. d. Phys.* 43. p. 1044. 1914.

3) J. Stark, *Elektrische Spektralanalyse chemischer Atome*. S. Hirzel. Leipzig 1914.

und im allgemeinen eine Verschiebung ihres Intensitätsgipfels gegen die scharfe, unbeeinflusste Linie zeigen. Diese Verbreiterung, welche von den zwischenmolekularen oder molelektrischen Feldern herrührt, hat Stark molelektrische Verbreiterung genannt.¹⁾ Es ist demnach mit der Verschiebung von Spektrallinien unter der Wirkung molelektrischer Felder notwendig verknüpft eine Verbreiterung derselben. Bei Zunahme des Gasdruckes nimmt der mittlere Abstand des Serienträgers von den benachbarten Gasmolekülen ab und infolgedessen die Wirkung der molelektrischen Felder auf die Spektrallinien zu. Mit steigendem Druck muß daher die Verschiebung und gleichzeitig die Verbreiterung zunehmen.

Stark hat bereits auf einige Fälle hingewiesen, in denen das Vorzeichen und die Größe der Druckverschiebung von Serienlinien mit dem Vorzeichen und der Größe des Effekts des elektrischen Feldes übereinstimmen. Eine eingehende experimentelle Prüfung dieser Übereinstimmung stand indessen noch aus. Man kann diese auf Grund folgender Überlegungen durchführen:

Erstens muß geprüft werden, ob das Vorzeichen der Druckverschiebung und der sie begleitenden dissymmetrischen Verbreiterung von Spektrallinien übereinstimmt mit dem Vorzeichen der Verschiebung oder der Dissymmetrie des Effekts des elektrischen Feldes auf sie. Es muß also der Verschiebung einer Serienlinie nach längeren Wellen eine Druckverschiebung ebenfalls nach längeren Wellen entsprechen; umgekehrt einer Verschiebung durch das elektrische Feld nach kürzeren Wellen ebenfalls eine Druckverschiebung nach kürzeren Wellen.

Zweitens muß untersucht werden, ob die Druckverschiebung und Verbreiterung von Serienlinien entlang der Serie sich in derselben Weise mit der Ordnungszahl einer Linie ändert, wie der Effekt des elektrischen Feldes. Und zwar muß die Druckverschiebung und Verbreiterung mit steigender Gliednummer zunehmen, wie dies für den Effekt des elektrischen Feldes in allen bis jetzt untersuchten Fällen festgestellt worden ist.

Seit von Stark die obige Hypothese zur Erklärung der Druckverschiebung aufgestellt worden ist, sind über sie neue

1) J. Stark, Bericht über die Verbreiterung von Spektrallinien. *Jahrb. d. Rad. u. El.* 12. p. 349. 1915.

Beobachtungen veröffentlicht worden, die zwecks ihrer Prüfung verwendet werden können. Dies ist im nachstehenden geschehen. Freilich mußten diese Beobachtungen durch neue Messungen ergänzt werden; insonderheit mußte für die in Betracht kommenden Linien der Effekt des elektrischen Feldes und ihre Verbreiterung untersucht werden.

§ 2. Methoden.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Reihe von Spektrallinien auf ihren Effekt des elektrischen Feldes untersucht. Dies geschah mit Hilfe der Kathodenschichtmethode und zwar wurde die von Stark beschriebene¹⁾ und erprobte Röhre Fig. 1 angewendet. Zu ihrer Füllung diente teils Helium, teils Argon, das etwas Stickstoff enthielt. Zur Untersuchung kamen nur Linien von Metallen. Um sie im Gasraum zur Emission zu bringen, wurden die betreffenden Metalle als Kathode des Glimmstromes angewandt. Infolge der Zerstäubung, welche in Helium und Argon besonders groß ist, erschienen ihre Serienlinien unmittelbar vor der Kathode in dem vor dieser liegenden elektrischen Felde. Dessen Stärke hatte gemäß den Messungen an Heliumlinien (Liebert) in allen von mir untersuchten Fällen denselben Wert, nämlich ungefähr 26000 Volt/cm.

Die Metalle wurden als 2—3 mm dicke Kappen auf die Stirnfläche eines Kupferstiftes aufgesetzt, der als Kathode diente.

Der Glimmstrom wurde erzeugt mittels Gleichspannung von 4500 Volt. Diese wurde erhalten durch Hintereinschalten einer Hochspannungsdynamo (3500 Volt) und einer Hochspannungsbatterie (1000 Volt).

Als Spektrograph diente ein vorzüglicher Apparat²⁾ von zwei 60°-Quarzprismen und Objektiven von ungefähr 60 cm Brennweite. Er ist von der Firma Steinheil-München nach den Angaben von Prof. Stark gebaut. Es wurde das Bild der ersten Kathodenschicht in der von Stark angegebenen Weise mit einem Quarz-Flußspat-Achromat auf den Spalt des Spektrographen geworfen.

1) J. Stark, O. Hardtke u. G. Liebert, Ann. d. Phys. 56. p. 581. 1918.

2) G. Wendt u. R. A. Wetzel, Ann. d. Phys. 50. p. 425. 1918

Um Bilder von der Verbreiterung der untersuchten Linien zu erhalten, wurden sie mit dem Quarzspektrographen an dem Lichtbogen in freier Luft aufgenommen. Und zwar bestanden

Fig. 1.

entweder beide Pole aus dem Metall, dessen Linien untersucht werden sollten, oder es wurde im Falle des Lithiums in eine Vertiefung der positiven Kohle reichlich Lithiumsalz (LiCl) eingefüllt.

Die Ausmessung der Spektrogramme erfolgte zum größten Teil mit dem Hartmannschen Mikrophotometer, zum kleinern Teil vermittels eines mit zwei Kreuztischen versehenen Mikroskops.

§ 3. Zinklinien.

Über die Druckverschiebung von Zinklinien liegt eine eingehende Untersuchung von Swaim¹⁾ vor. Wie sie ergab, werden sowohl die Linien der ersten, als auch der zweiten Nebenserie von Triplets im Lichtbogen durch Erhöhung des Gasdruckes nach längeren Wellen verschoben. Und zwar nimmt in beiden Serien die Verschiebung zu mit steigender Gliednummer. Sie ist innerhalb der ersten Nebenserie umgekehrt proportional der dritten Wurzel aus der Wellenlänge. Außerdem ist sie für die Komponenten eines und desselben Triplets

Tabelle I.

Bezeichnung	Wellenlänge λ in Å	Verschiebung $\Delta\lambda$ in Å
I N ₄ I	3346,04	+ 0,0046
	3345,62	+ 0,0045
	3345,13	+ 0,0047
I N ₄ II	3303,03	+ 0,0044
	3302,67	+ 0,0044
I N ₄ III	3282,42	+ 0,0045
I N ₅ I	2802,11	+ 0,0024
	2800,90	+ 0,0082
	2800,17	+ 0,0088
I N ₅ II	2771,05	+ 0,0085
	2770,94	+ 0,0077
I N ₅ III	2756,53	+ 0,0092
I N ₆ I	2608,65	+ 0,0112
I N ₆ II	2582,57	+ 0,0091
I N ₆ III	2570,00	+ 0,0085

angenähert gleich groß. In Tab. I sind die von Swaim erhaltenen Zahlen zusammengestellt. Da somit durch Swaims Messungen die Druckverschiebung in der ersten Tripletnebenserie des Zinks bekannt war, so war von mir im Sinne der gestellten Aufgabe der Effekt des elektrischen Feldes auf die

1) V. E. Swaim, *Astrophys. Journ.* **40**, p. 137. 1914.

Linien derselben Serie zu untersuchen. Die mir zur Verfügung stehende Feldstärke, ferner die von mir verwendete Dispersion und Lichtstärke des Spektrographen, ließ lediglich für eine beschränkte Anzahl von Zinklinien die Untersuchung des Effekts des elektrischen Feldes zu. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. II zusammengestellt.

Tabelle II.
Feldstärke ca. 26000 Volt/cm.

Bezeichnung	Wellenlänge λ in Å	Verschiebung $\Delta\lambda$ in Å	Dispersion Å/mm
I N ₆ I	2608,6	+ 0,12	4,8
I N ₆ II	2582,5	+ 0,12	4,6
I N ₆ III	2570,0	+ 0,10	4,5
I N ₇ I	2516,0	+ 0,23	4,35
I N ₇ II	2491,7	+ 0,26	4,15
I N ₇ III	2479,8	+ 0,26	4,1
I N ₈ I	2463,7	+ 0,72	4,0

Gemäß vorstehender Tabelle werden die Linien der ersten Tripletnebenserie des Zinks bei der von mir angewandten Feldstärke ohne Zerlegung nach längeren Wellen verschoben.

Ferner sind gemäß Tab. II die Verschiebungen der Komponenten desselben Triplets angenähert gleich groß. Das Gleiche gilt für die Druckverschiebung.

Wie Tab. II ersehen läßt, nimmt entlang der Serie die Verschiebung der ersten Tripletnebenserie durch das elektrische Feld mit steigender Gliednummer, also mit abnehmender Wellenlänge zu. Es ist dies ein Gesetz, welchem der Effekt des elektrischen Feldes bei allen bis jetzt untersuchten Serien folgt. Nach den oben mitgeteilten Ergebnissen Swaims folgt auch die Druckverschiebung von Zinklinien demselben Gesetze.

Aus der Übereinstimmung der zwei Effekte in den drei vorstehenden Punkten (Vorzeichen, Verschiebung innerhalb eines Triplets und Verschiebung entlang der Serie) darf gefolgert werden, daß die Druckverschiebung ihren Ursprung in der Wirkung elektrischer Felder hat; es können dies nur die zwischenmolekularen oder molelektrischen Felder sein. Für das Glied I N₆ ist sowohl die Druckverschiebung, wie der

Effekt des elektrischen Feldes bekannt; es kann daher die mittlere Stärke der molelektrischen Felder aus den betreffenden Zahlen der Tab. I u. II berechnet werden. Es ist nach Swaim die Verschiebung der Linien des Triplets I N_6 beim Übergang von sehr kleinem Druck zu einer Atmosphäre durchschnittlich $0,0096 \text{ \AA}$. Nach Tab. II ist die Verschiebung der Linien desselben Triplets $0,12 \text{ \AA}$ für ein Feld von 26000 Volt/cm . Hieraus berechnet sich bei Annahme von Proportionalität zwischen Feldstärke und Verschiebung als mittlere molelektrische Feldstärke 2080 Volt/cm . Diese Feldstärke herrscht in $8 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$ Abstand von einer punktförmigen Ladung. Es ist ein Wert, der bei einem Gasdruck von 760 mm durchaus plausibel ist.

Fig. 2.

Fig. 3.

Wie oben dargelegt wurde, ist auf Grund einer theoretischen Überlegung zu erwarten, daß die Druckverschiebung bei Zinklinien mit einer dissymmetrischen Verbreiterung verbunden ist. Diese Erwartung wurde durch meine Aufnahmen vollauf bestätigt. Die von mir untersuchten Zinklinien sind alle ziemlich stark verbreitert. *Die Verbreiterung nimmt entlang der Serie rasch mit steigender Gliednummer zu; zudem ist sie dissymmetrisch, und zwar ist der Abfall der Intensität nach längeren Wellen langsamer als nach kürzeren.* Fig. 2 zeigt für die erste Komponente des Triplets I N_7 die Verteilung der Schwärzung. Fig. 3 zeigt dasselbe für die zweite Komponente

des Triplets I N_g. Für das Verständnis dieser Verbreiterung ist zu bemerken, daß nach Starks Darlegungen¹⁾ bei den angewandten Versuchsbedingungen (Emission im Lichtbogen bei ziemlich großer Dampfdichte) eine Überlagerung von molelektrischer und molstößlicher Verbreiterung statt hat. Auch mag, nach Stark, die Eigenabsorption die Intensitätsverteilung in der verbreiterten Linie beeinflussen. *Das Wesentliche ist indes die Dissymmetrie der Verbreiterung. Ihr Vorzeichen (stärkere Verbreiterung nach längeren Wellen) stimmt mit dem Vorzeichen des Effekts des elektrischen Feldes und mit demjenigen der Druckverschiebung überein.*

§ 4. Quecksilberlinien.

Über den Effekt des elektrischen Feldes auf Quecksilberlinien liegen bereits Beobachtungen von G. Wendt und R. A. Wetzel²⁾ vor. Sie haben ihn für sehr große Feldstärken (60000—100000 Volt/cm) nach der von Stark angegebenen Kanalstrahlenmethode untersucht. Sie erhielten in der ersten Nebenserie der Triplets bei allen untersuchten Linien eine Verschiebung nach längeren Wellen, zum Teil unter gleichzeitiger Zerlegung in mehrere Komponenten. Nur bei der Linie λ 2803 geben sie eine kurzwellige Komponente an; in dessen erscheint es nach den seither von Stark³⁾ und Liebert⁴⁾ erhaltenen Resultaten über das Erscheinen neuer Serien im elektrischen Felde nicht ausgeschlossen, daß jene kurzwellige Komponente eine neue besondere Linie darstellt. Ist dies zutreffend, so würden die Linien der ersten Tripletnebenserie des Quecksilbers nur nach längeren Wellen verschoben, ohne bei schwachen Feldern und mäßiger Dispersion in einzelne Komponenten zerlegt zu werden. Ich habe nun die Beobachtungen von Wendt und Wetzel für die dritte Komponente des 6. Gliedes (I N_g III 2378,39) mit der von mir angewandten Kathodenschichtmethode wiederholt. Wie sich ergab, wird sie durch ein Feld von 26000 Volt/cm ohne Zerlegung um 0,46 Å nach längeren Wellen verschoben. Wendt und Wetzel fanden

1) J. Stark, Jahrb. d. Rad. u. El. 12. p. 405. 1915.

2) G. Wendt u. R. A. Wetzel, Ann. d. Phys. 50. p. 49. 1916.

3) J. Stark, Ann. d. Phys. 56. p. 507. 1918.

4) G. Liebert, Ann. d. Phys. 56. p. 610. 1918.

für ein Feld von 60000 Volt/cm eine Verschiebung der Linie um $1,18 \text{ \AA}$. Während das Verhältnis der Felder $\frac{60000}{26000}$ den Wert 2,3 ergibt, hat das Verhältnis der Verschiebungen den Wert $\frac{1,18}{0,46} = 2,57$; es wächst demnach, Genauigkeit der beiderseitigen Messungen vorausgesetzt, die Verschiebung nicht proportional der Feldstärke, sondern etwas rascher, ein Verhältnis, das Liebert auch für die Hauptlinien des Heliums fand, welche ohne Zerlegung nach längeren Wellen verschoben werden.

Außer der Linie $\lambda 2378,39$ habe ich, über Wendt und Wetzel hinausgehend, die Linie $\lambda 2399,81$ untersucht. Es ist dies in der hier angewandten Bezeichnung Linie I N₇ II. *Sie wird durch ein Feld von 26000 Volt/cm ohne Zerlegung um $1,08 \text{ \AA}$ nach längeren Wellen verschoben.* Der Vergleich zwischen $\lambda 2378,39$ und $\lambda 2399,81$ lehrt, daß auch in der ersten Tripletnebenserie vom Quecksilber der Effekt des elektrischen Feldes mit steigender Gliednummer zunimmt, wie Wendt und Wetzel bereits für die vorhergehenden Glieder dieser Serie festgestellt haben.

Über die Druckverschiebung der Quecksilberlinien liegen bis jetzt sehr wenig Beobachtungen vor. Für die Linie $\lambda 3650,31$ (I N₄ I) wurde¹⁾ für eine Druckerhöhung um eine Atmosphäre eine Verschiebung von $0,0066 \text{ \AA}$ nach längeren Wellen gefunden. Wenn also, wie zu erwarten ist, auch innerhalb der ersten Tripletnebenserie des Quecksilbers die Druckverschiebung entlang der Serie dasselbe Vorzeichen hat und mit steigender Gliednummer zunimmt, so muß die Druckverschiebung für die Glieder I N₆ III ($\lambda 2378,39$) und I N₇ II ($\lambda 2399,81$) ebenfalls nach längeren Wellen erfolgen und erheblich größer sein als für I N₄ I ($\lambda 3650,31$). Gleichzeitig muß gemäß den obigen theoretischen Darlegungen die Druckverschiebung von einer dissymmetrischen Verbreiterung begleitet sein.

Diese Folgerungen wurden an dem Hg-Lichtbogen in einer Heraeus-Quarzlampe in folgender Weise geprüft. Es wurden

1) W. J. Humphreys, Jahrb. d. Rad. u. El. 5. p. 341. 1908.

die genannten Hg-Linien erstens aufgenommen an dem Lichtbogen bei sehr niedrigem Dampfdruck, wie er unmittelbar nach dem Zünden während der ersten 20 Sekunden vorhanden ist. Unter dieser Bedingung erscheinen alle Hg-Linien, auch die genannten, scharf. Zweitens wurden die Linien an dem Lichtbogen aufgenommen, wenn infolge starker Erwärmung der Lampe durch längere höhere Belastung der Dampfdruck so hoch gestiegen war, daß die Elektrodenspannung von 20 Volt unmittelbar nach dem Zünden auf 150 Volt angewachsen war. Unter dieser Bedingung erschienen die Linien stark verbreitert.

Um die Wellenlänge der Intensitätsgipfel der zwei Linien für die zwei Bedingungen (niedriger und hoher Dampfdruck) zu ermitteln, wurde folgenderweise verfahren. Unmittelbar nach der Belichtung der Platte im Spektrographen mit der Hg-Lampe wurde auf die Platte das Spektrum des Eisenbogens entworfen und zwar nicht direkt, sondern es wurde vor dem (in der Mitte auf die Länge von etwa 2 mm abgedeckten) Spalt ein weißes Blatt Karton unter ungefähr 45° aufgestellt und dieses Blatt mit dem Eisenbogen beleuchtet. Auf diese Weise war dafür gesorgt, daß das Spaltrohrobjektiv bei der Vergleichsaufnahme immer vollständig gefüllt war, also eine Verschiebung der Eisenlinien von Aufnahme zu Aufnahme infolge einer Änderung in der Stellung des Eisenbogens bei direkter Beleuchtung ausgeschlossen war. Es wurde dann der Abstand des Intensitätsgipfels der Quecksilberlinie von einer benachbarten scharfen Eisenlinie einmal an dem Spektrogramm bei niedrigem Dampfdruck, sodann an demjenigen bei hohem Dampfdruck gemessen. Die Differenz der Abstände lieferte die Verschiebung der Quecksilberlinie infolge Steigerung des Dampfdruckes. Eine Reihe von Einstellungen auf denselben Intensitätsgipfel lieferte untereinander gute Übereinstimmung. Zur Kontrolle wurde noch die Schwärzungsverteilung mit Hilfe des Mikrophotometers gemessen. Die so ermittelte Lage des Höchstwertes der Schwärzung (Intensitätsgipfel) stimmte mit der unmittelbaren Einstellung auf denselben ebenfalls überein.

Wie sich ergab, wird sowohl die Linie λ 2378,39 ($I N_6 III$), als auch die Linie λ 2399,81 ($I N_7 II$) durch Erhöhung des

Dampfdruckes von dem niederen Wert (ca. 0,1 mm) bei kleiner Elektrodenspannung (20 Volt) zu dem höheren Druck (mehrere 100 mm) bei großer Elektrodenspannung (150 Volt) nach längeren Wellen verschoben.

Die Verschiebung¹⁾ beträgt für:

λ 2378,39 (I N₆ III) 0,10 Å

λ 2399,81 (I N₇ II) 0,21 Å.

Demgemäß haben auch in der ersten Tripletnebenserie des Quecksilbers der Effekt des elektrischen Feldes und die Druckverschiebung das gleiche Vorzeichen, und beide nehmen

Fig. 4.

Fig. 5.

mit steigender Gliednummer entlang der Serie zu. Als mittlere Stärke der molelektrischen Felder, welche die Druckverschiebung bewirkten, berechnet sich aus den vorstehenden Angaben für N₆ 5600, für N₇ 4900 Volt/cm.

Ferner ist in Übereinstimmung mit den einleitenden theoretischen Darlegungen die Druckverschiebung der untersuchten Hg-Linien mit einer dissymmetrischen Verbreiterung verbunden. Die Figg. 4 u. 5 geben die Schwärzungsverteilung für die beiden untersuchten Quecksilberlinien wieder, wie sie an der Quarzlampe bei hohem Dampfdruck erhalten wurden. Die gestrichelte Lotrechte markiert die Lage des Intensitätsgipfels der Linien für niederen Druck.

1) Die hier angegebenen Wellenlängen der zwei Hg-Linien sind dem Handbuch von Kayser entnommen. Sie wurden von Stiles an dem Bogen in Luft erhalten. Sie sind darum wohl bereits um die Druckverschiebung vergrößert. Auf eine genaue Bestimmung der Wellenlänge kam es mir indes nicht an, sondern auf die Feststellung einer etwaigen Druckverschiebung.

§ 5. Lithiumlinien.

Das Lithiumspektrum ist im Sichtbaren auf den Effekt des elektrischen Feldes bereits untersucht worden. Aus der ultravioletten Hauptserie ist bis jetzt nur das zweite Glied $\lambda 3232$ von Stark und Kirschbaum¹⁾ geprüft worden. Sie fanden für ein Feld von 38000 Volt/cm eine Verschiebung der Linie um $0,13 \text{ \AA}$ nach Rot. Wenn nun auch zu erwarten war, daß die Hauptserienlinien des Lithiums, entsprechend der Analogie der im Sichtbaren liegenden Nebenserien der beiden Elemente Li und He, sich wie die eingehend untersuchten Heliumhauptserienlinien²⁾ verhalten würden (Verschiebung nach Rot ohne Zerlegung), so erschien doch eine Prüfung dieses Analogieschlusses an einer weiteren Linie derselben Serie wünschenswert. Mit Rücksicht auf die Dispersion des von mir verwendeten Spektrographen wählte ich für diesen Zweck die Linie $\lambda 2562,6$.

Wie meine Spektrogramme ergaben, wird diese Linie (das vierte Glied der Li-Hauptserie) durch ein Feld von 26000 Volt/cm um $0,36 \text{ \AA}$ nach längeren Wellen verschoben. Der Vergleich dieses Ergebnisses mit obiger Angabe über die Linie $\lambda 3232$ lehrt, daß auch in der Lithiumhauptserie der Effekt des elektrischen Feldes (Verschiebung ohne Zerlegung nach Rot) mit steigender Gliednummer zunimmt. Das gleiche Verhalten zeigen nach den Untersuchungen von Liebert die entsprechenden Linien der Heliumhauptserie.

Auf Druckverschiebung ist von der Hauptserie des Lithiums die Linie $\lambda 3232$ untersucht³⁾; für eine Druckerhöhung um eine Atmosphäre trat eine Verschiebung der Linie um $0,0075 \text{ \AA}$ auf.

Es stimmt demnach das Vorzeichen der Druckverschiebung der Li-Hauptserienlinien mit dem Vorzeichen des Effekts des elektrischen Feldes überein. Dementsprechend weisen diese Linien auch bei der großen Stromdichte im Lichtbogen in freier Luft eine entlang der Serie zunehmende dissymmetrische Verbreiterung nach Rot auf, insofern die Intensität nach der

1) J. Stark u. H. Kirschbaum, Ann. d. Phys. 43. p. 1029. 1914.

2) G. Liebert, Ann. d. Phys. 56. p. 592. 1918.

3) W. J. Humphreys, Jahrb. d. Rad. u. El. 5. p. 338. 1908.

langwelligen Seite langsamer abfällt als nach der kurzwelligen. Eine Anschauung davon gibt Fig. 6. Die o-o-o-Kurve gibt die Schwärzungsverteilung in einer Linie wieder, welche bei sehr großer Dampfdichte den Anfang einer Selbstumkehrung zeigt.

Fig. 6.

§ 6. Calciumlinien.

Die Linien der zweiten Hauptserie des Heliums werden durch ein elektrisches Feld nach *kürzeren* Wellen verschoben. Auf Grund seiner Hypothese über den Zusammenhang von Druckverschiebung und dem Effekt des elektrischen Feldes hat Stark¹⁾ bereits im Jahre 1914 die Vermutung geäußert, daß es auch Linien geben könnte, welche durch Druckerhöhung, abweichend von den zahlreichen, bis dahin untersuchten Linien, nach *kürzeren* Wellen verschoben werden. Diese Vermutung ist unterdessen für mehrere Linien von amerikanischen Forschern bestätigt worden. So geben Gale und Whitney²⁾ für das fünfte Glied der ersten Calciumtripletnebenseerie ($I N_6$) eine Verschiebung um $0,019 \text{ \AA}$, für $I N_6$ eine solche um $0,034 \text{ \AA}$ nach *kürzeren* Wellen an. Es nimmt also die Verschiebung nach *kürzeren* Wellen entlang der Tripletnebenseerie des Ca

1) J. Stark u. H. Kirschbaum, Ann. d. Phys. 41. p. 1045. 1914.

2) H. Gale u. W. Whitney, Astrophys. Journ. 43. p. 165. 1916.

ebenfalls wie in allen andern bis jetzt untersuchten Fällen mit steigender Gliednummer zu. Für die Prüfung der von Stark aufgestellten Hypothese war nun die Untersuchung einer dieser Calciumtripletlinien auf den Effekt des elektrischen Feldes besonders wichtig. Es mußte sich zeigen, ob mit dem Vorzeichen der Druckverschiebung sich auch das Vorzeichen für den Effekt des elektrischen Feldes umkehrt. Diese theoretische Folgerung hat sich nun in der Tat bestätigt.

Fig. 7.

Die Linien des Triplets $I N_6$ werden durch ein Feld von 26000 Volt/cm ohne Zerlegung nach kürzeren Wellen verschoben,

und zwar:

λ 3361,92	um	1,02 Å,
λ 3350,22	um	1,33 Å,
λ 3344,49	um	1,35 Å.

Es blieb endlich noch zu prüfen, ob auch die Verbreiterung einer solchen Calciumlinie bei großer Dampfdichte im Lichtbogen dissymmetrisch ist, bei langsamerem Abfall der Intensität nach kürzeren Wellen. Dies ist tatsächlich der Fall, wie Fig. 7 ersehen läßt.

§ 7. Zusammenfassung.

Die experimentelle Untersuchung von zahlreichen Serienlinien der Elemente Zn, Hg, Li und Ca auf ihren Effekt des elektrischen Feldes, ihre Druckverschiebung und ihre Verbreiterung bei großer Strom- und Dampfdichte hat ohne Ausnahme folgendes Ergebnis geliefert.

Der Effekt des elektrischen Feldes, die Druckverschiebung und die dissymmetrische Verbreiterung nehmen übereinstimmend entlang einer Serie mit steigender Gliednummer, also abnehmender Wellenlänge zu.

Das Vorzeichen der Verschiebung durch die Wirkung des elektrischen Feldes stimmt ausnahmslos mit dem Vorzeichen der Verschiebung durch Druckerhöhung und dem Vorzeichen der Dissymmetrie überein.

Die Hypothese Starks, daß die Druckverschiebung und die dissymmetrische Verbreiterung von Serienlinien durch zwischenmolekulare elektrische Felder bewirkt wird, kann somit als experimentell bestätigt betrachtet werden.

Vorliegende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Universität Greifswald ausgeführt. Es sei mir gestattet, auch an dieser Stelle Herrn Prof. Stark für die Anregung zu dieser Arbeit und seine Förderung während ihrer Ausführung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Greifswald, Physik. Institut der Universität, Febr. 1919.

(Eingegangen 3. März 1919.)